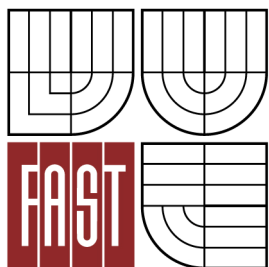




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

PRODLOUŽENÍ ŽIVOTNOSTI CEMENTOBETONOVÝCH KRYTŮ

EXTENSION OF LIFE TIME OF CONCRETE PAVEMENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTINA RENZOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. MICHAL VARAUS

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. MARTINA RENZOVÁ
Název	Prodloužení životnosti cementobetonových krytů
Vedoucí diplomové práce	doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2012
Datum odevzdání diplomové práce	11. 1. 2013
V Brně dne 31. 3. 2012	

.....
doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

ČSN EN 13877-1 Cementobetonové kryty - Část 1: Materiály.

ČSN EN 13877-2 Cementobetonové kryty - Část 2: Funkční požadavky.

Asphalt overlays for Highway and Street Rehabilitation.

Sborníky konferencí Cementobetonové vozovky.

Zásady pro vypracování

Cílem práce je v teoretické části provést rešerši možných způsobů oprav cementobetonových krytů bez kotvení příčných spár. Praktická část bude zaměřena na návrh segmentace cementobetonových krytů na pokusných úsecích a vyhodnocení měření zkouškou tlumeným rázem.

Předepsané přílohy

.....
doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Cílem diplomové práce je v teoretické části provést rešerši možných způsobů oprav cementobetonových krytů bez kotvení příčných spár. Praktická část je zaměřena na návrh segmentace cementobetonových krytů na pokusných úsecích a vyhodnocení měření zkouškou tlumeným rázem.

Abstract

The aim of the theoretical part of this Master's thesis is to make a research of possible ways in repairing PCC pavements without anchoring transverse joints. The practical part is focused on the design of PCC pavements segmentations in experimental sections and evaluation measurement by testing muted impact.

Klíčová slova

Cementobetonový kryt, segmentace, segmentační krok, zkouška tlumeným rázem, modul pružnosti.

Keywords

Portland cement concrete pavements (PCC pavements), segmentation, segmentation steps, test muted impact, modulus of elasticity.

Bibliografická citace VŠKP

RENZOVÁ, Martina. *Prodloužení životnosti cementobetonových krytů*. Brno, 2013. 145 s.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11.1.2013

.....
podpis autora
Bc. Martina Renzová

Poděkování

Chtěla bych poděkovat panu doc. Dr. Ing. Michalu Varausovi za odborné vedení, ochotu a poskytnutí užitečných materiálů a rad při sestavování mé práce, dále také panu Ing. Petru Hýzlovi, Ph.D., Ing. Robertu Kaděrkovi, Ph.D., Ing. Zdeňku Kachyňovi, Ing. Petru Špačkovi a RNDr. Svatopluku Stokláškoví. Také děkuji mé rodině a přátelům za podporu v průběhu studia.

Obsah

1	Úvod	11
2	Cíl diplomové práce.....	12
3	Teoretická část	13
3.1	Cementobetonové kryty [1].....	13
3.1.1	Funkce.....	13
3.1.2	Charakteristiky	13
3.1.3	Historický vývoj	14
3.1.4	Užití ve vozovce	15
3.1.5	Stavební materiály	15
3.1.6	Konstrukční zásady.....	20
3.1.7	Technologické postupy prací	24
3.2	Opravy cementobetonových krytů [18]	30
3.2.1	Jednotlivé typy a způsoby rekonstrukce	30
3.2.2	Postup při výběru typu a způsobu rekonstrukce	32
3.2.3	Rekonstrukce zesílením	38
3.2.4	Přípravné operace před zesílením vozovky	41
3.3	Rešerše z literatury	45
3.3.1	Zkušenosti s překrýváním cementobetonových krytů v ČR.....	45
3.3.2	Zkušenosti s překrýváním cementobetonových krytů v USA	75
4	Praktická část.....	98
4.1	Vysvětlení používaných pojmů:.....	98
4.2	Postup měření a vyhodnocení dat ke zjištění optimálního segmentačního kroku 102	
4.3	Prováděná měření:.....	105
4.3.1	Měření únosnosti na testovacích úsecích dálnice D11 – DZ11	105
4.3.2	Měření únosnosti na testovacích úsecích dálnice D11 – DZ12 a KZ12	113
4.3.3	Měření únosnosti na testovacích úsecích dálnice D1 – RV12.....	119

4.4	Dimenzování zesílení na segmentovaných úsecích	121
5	Závěr	133
6	Seznam knih, časopisů a monografií.....	137
7	Seznam norem.....	138
8	Seznam internetových zdrojů	140
9	Seznam použitých zkratk	141
10	Seznam obrázků.....	142
11	Seznam tabulek	144

1 Úvod

Cementobetonové vozovky mají v ČR i ve světě již dlouhou tradici. Jejich schopnost přenášet vysoké dopravní zatížení bez trvalých deformací zajišťuje uživatelům bezpečný provoz. Cementobetonové vozovky dosahují životnosti až 30 let, právě proto se na dálničních úsecích dává přednost variantě vozovky s cementobetonovým krytem.

První úseky dálnice D1 s cementobetonovým krytem byly v ČR uvedeny do provozu již v roce 1971, tudíž dnes vysoko přesáhly svou dobu životnosti, o tom se může každý uživatel přesvědčit nekomfortní jízdou po samotné komunikaci D1. Z pohledu provozní způsobilosti je zapotřebí rekonstrukcí prodloužit životnost stávajícího cementobetonového krytu.

Jako vhodná technologie k rekonstrukci cementobetonového krytu se nabízí segmentace cementobetonové vozovky gilotinou s následnými pojezdy válce, překrytím kompenzační vrstvou a zesílením asfaltovými vrstvami.

2 Cíl diplomové práce

Na začátku teoretické části budou představeny cementobetonové kryty a možnosti jejich opravy. Jak již bylo předesláno, práce je zaměřena na metodu rekonstrukce zesílením asfaltovými vrstvami, čemuž předchází segmentování pomocí gilotiny. Rešerše české literatury ukazuje zkušenosti, které byly sbírány na krátkých testovacích úsecích českých dálnic, neboť tato technologie prozatím není v ČR prováděna ve velkém rozsahu. Přehled oprav v USA je součástí rešerše.

V praktické části jsou vysvětleny pojmy, které souvisí se segmentací na pokusných úsecích, je zde popsán postup měření a vyhodnocení dat zkoušky tlumeným rázem (moduly pružnosti) k určení vhodného segmentačního kroku gilotiny.

Součástí praktické části je návrh tloušťky překrytí v programu Overlay Design.

Výsledkem bude Metodika stanovení optimálního kroku segmentace cementobetonového krytu.

3 Teoretická část

3.1 Cementobetonové kryty [1]

3.1.1 Funkce

Funkce cementobetonových krytů jsou shodné s funkcemi krytů z hutněných asfaltových směsí.

- Schopnost přenášet síly vyvolané účinkem dopravy.
- Zajistit bezpečný provoz.
- Odolávat účinkům povětrnostních vlivů.

3.1.2 Charakteristiky

- Betonové vozovky jsou vozovky vhodné pro vysoké dopravní zatížení.
- Betonové vozovky díky deskovému účinku (tuhosti desek) roznášejí velice dobře zatížení → zatížení se rozkládají na velkou plochu a napětí pod betonovým krytem jsou malá.
- Díky pružnému chování betonu nevznikají trvalé deformace (vyjeté koleje, lokální deformace).
- Vysoký modul tuhosti betonu zaručuje dlouhou životnost.
- Na řidiče působí příznivě světlý povrch betonové vozovky.
- Tyto dobré vlastnosti jsou spojeny s vysokými výrobními náklady, které jsou oprávněné pouze v případě vysokého dopravního zatížení nebo pokud neexistuje jiná alternativa.
- Prvotní náklady jsou tedy vysoké, celkové náklady = prvotní náklady + provozní (údržba), provozní jsou však nižší než u asfaltových vozovek.
- Uložení betonového krytu musí být rovnoměrné. Různé sedání podkladu vytváří dutá místa pod deskou a dochází k porušení trhlinami.
- Opravy betonových vozovek jsou nákladné, často je nutno provést opravu na celou tloušťku betonové desky.

- Betonové vozovky musí být vybaveny spárami. Spáry představují problematická místa, která musí být ošetřována a často bývají zdrojem poruch.

Spáry jsou nutné:

1. Při tuhnutí betonu po pokládce dochází ke smršťování betonu – pokud by nebyly spáry, souvislý pás by popraskal.
2. Rozdílnými teplotami na horní a spodní hraně desky v průběhu dne a noci se deska ohýbá, zvedá. Pokud by byla deska příliš dlouhá, dosedla by uprostřed vlastní vahou na podklad a tím by se ještě více zvýšilo tahové napětí v horní části desky. Proto musí být deska opatřena spárami a délka musí ležet pod kritickou délkou.

3.1.3 Historický vývoj

- První betonové vozovky ve 30. letech – betonování s pevnými bočnicemi (princip bednění).
- V 60. letech – betonáž s kluznou bočnicí – do spár vkládány polyetylenové fólie – nekotvené spáry – problematická místa – poruchy, výškové posuny.
- V 90. letech – kotvení spár (příčných i podélných). Kotvení příčných spár → přenos zatížení, kotvení podélných spár → zabránění horizontálním posunům.

Stávající druhy cementobetonových krytů:

- nevyztužený cementobetonový kryt se spárami: příčné spáry s trny nebo bez trnů;
- vyztužený se spárami: desky vyztužené v podélném a příčném směru, příčné spáry obvykle s kluznými trny;
- spojitě vyztužený cementobetonový kryt CRCP: cementobetonový kryt se souvislou podélnou výztuží bez příčných spár;
- spojitě vyztužený cementobetonový podklad CRCR: betonová vrstva se souvislou podélnou výztuží bez mezilehlých spár s množstvím oceli nižším, než má CRCP. Je překryta asfaltovou obrušnou vrstvou.

3.1.4 Užití ve vozovce

Cementobetonové kryty se pro účely normy dělí podle dopravního zatížení do třech skupin (ČSN 73 6114 *Vozovky pozemních komunikací. Základní ustanovení pro navrhování* [9]). Zařazení vozovek s cementobetonovým krytem do jednotlivých skupin je uvedeno v **Tab. 1**.

Tab. 1 Členění cementobetonových krytů

Zařazení do skupiny	Specifikace komunikace	Třída dopravního zatížení podle ČSN 73 6114
CB I	Letištní dráhy a plochy, dálnice, rychlostní silnice, rychlostní místní komunikace, silnice I. třídy	S, I – III
CB II	Silnice II. a III. třídy, sběrné místní komunikace, obslužné místní komunikace, odstavné a parkovací plochy	III – V
CB III	Obslužné místní komunikace, odstavné a parkovací plochy, dočasné komunikace a účelové komunikace	IV - VI

3.1.5 Stavební materiály

Požadavky na stavební materiály se řídí normou:

ČSN EN 13877-1 *Cementobetonové kryty – Část 1: Materiály* [10]

Souhlas se zdroji dodávek cementu, kameniva, přísad, hmot pro ošetření betonu a hmot pro utěsnění spár uděluje objednatel/správce stavby před vypracováním návrhu složení betonu, provedením průkazných zkoušek, příp. před zahájením prací. Pro ověření jakosti materiálu z jednotlivých zdrojů budou vzorky odebírány podle jeho pokynu. Žádné neodsouhlasené materiály nesmí být použity bez jeho písemného schválení.

Kamenivo

Ve spodní vrstvě dvouvrstvého cementobetonového krytu lze přiměřenou část hrubého přírodního kameniva nahradit hrubým kamenivem z předrceného betonu. Hlavní požadavky na kamenivo jsou uvedeny v **Tab. 2**.

Tab. 2 Hlavní požadavky na kamenivo do cementobetonových krytů

Vlastnost	Kamenivo		Označení	Požadavky pro cementobetonové kryty	
				CB I, CB II	CB III
Zrnitost	Drobné	Drobné	G_F	G_F 85	
		Směs	G_A	-	G_A 90
		Těžené přírodní	G_{NG}	-	G_{NG} 90
	Hrubé	$D/d \leq 2$ nebo $D \leq 11,2$ mm	G_C	G_C 85/20	
		$D/d > 2$ a $D > 11,2$ mm		G_C 90/15	
Obsah jemných částic	Drobné	Těžené	f	f_3	
		Drcené			
		Směs			
	Hrubé			$f_{1,5}$	
Tvarový index	Hrubé		SI	max. SI 40	
Pozn.: pro horní beton se doporučuje SI 20					
Odolnost proti drcení Los Angeles	Hrubé	Těžené	LA	max. LA 50	
		Drcené $D \leq 11$		max. LA 35	
		Drcené $D > 11$		max. LA 30	
Odladitelnost PSV	Hrubé		PSV	PSV_{50}	$PSV_{\text{deklarovaná}}$
Pozn.: parametry pro odladitelnost u dvouvrstvé technologie jsou povinné pro horní vrstvu betonu					
Nasákavost	Hrubé		WA_{24}	$\leq 1,5$ %	
Pozn.: v případě vyšší hodnoty nasákavosti je rozhodující odolnost proti zmrazování a rozmrazování					
Odolnost proti zmrazování a rozmrazování	Hrubé		F	F_1, F_2	
Zkouška $MgSO_4$			MS	MS_{18}	
Zkouška Na_2SO_4 podle ČSN 72 1176	Drobné a hrubé			Odpad max. 10 %	
Odolnost proti alkalicko-křemičité reakci				Deklarace podle ČSN EN 206-1, článek NA.3 a podle zvláštních předpisů	
Obsah chloridů	Drobné a hrubé			Nevyztužený beton max. 0,1 %	
				Vyztužený beton max. 0,02 %	
Obsah veškeré síry	Drobné a hrubé		S	max. 1 %	
Obsah síranové síry	Drobné a hrubé		AS	$AS_{0,2}$	
Obsah lehkých znečišťujících látek	Drobné			max. 0,25 %	
	Hrubé			max. 0,05 %	
Humusovitost	Drobné			Světlejší než etalon	

Cement

- Na cementobetonové kryty vozovek skupiny CB I se musí použít portlandský cement třídy 42,5 podle ČSN EN 197-1 *Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití* [12]. Na vozovky skupin CB II, CB III se doporučuje použít portlandský cement třídy 42,5, případně jiný portlandský struskový cement podle ČSN EN 197-1 *Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití* [12],
- počátek tuhnutí nesmí nastat dříve než za 90 minut,
- doba tuhnutí cementu musí být ukončena do 12 hodin.

Tab. 3 Požadavky na beton

Druh zkoušky	Parametr pro skupinu cementobetonových krytů	
	CB I	CB II, CB III
Druh cementu (ČSN EN 197-1)	CEM I 42,5	CEM I 42,5 CEM I 32,5 CEM II 32,5/A-S
Ztráta žíháním	max. 3 % hmotnosti cementu	
Obsah trikalciumaluminátu C_3A ve slínku ($C_3A = 2,65 Al_2O_3 - 1,69 Fe_2O_3$)	max. 8 %	
Obsah MgO	max. 5 % hmotnosti slínku	
Počátek tuhnutí	min. 1,5h	
Jemnost mletí (Blaine)	max. $350 m^2 \cdot kg^{-1}$	max. $350 m^2 \cdot kg^{-1}$

Přísady

U všech skupin vozovek se používají ke zlepšení konzistence čerstvého betonu a ke zvýšení trvanlivosti cementobetonového krytu vozovky plastifikační, ztekutující a provzdušňující přísady.

Ocel

Betonářská ocel používaná na výztuž desek musí mít jakost nejméně B500 podle ČSN EN 10080 *Ocel pro výztuž do betonu – Svařitelná betonářská ocel – Všeobecně* [13],

kotevní tyče z hladké nebo hřebínkové oceli musí mít jakost nejméně B250 nebo B500 a musí vyhovovat ČSN EN 10080 *Ocel pro výztuž do betonu – Svařitelná betonářská ocel – Všeobecně* [13] a kluzné trny musí splňovat požadavky ČSN EN 13877-3 *Cementobetonové kryty - Část 3: Specifikace pro trny, používané do cementobetonových krytů* [11].

V příčných spárách se používají kluzné trny z hladké oceli obvykle o průměru 25 mm a délce nejméně 500 mm, které jsou po celém svém povrchu opatřeny plastovým povlakem minimální tloušťky 0,3 mm, který zaručuje ochranu oceli proti korozi a zároveň umožňuje prokluz v betonu. Konce trnů nesmí být zdeformovány, musí být obroušeny, aby byl umožněn volný pohyb trnů v betonu.

Pro kotvení podélných spár cementobetonových krytů vozovek CB I se používají tyče z hřebínkové oceli o průměru 20 mm (16 mm) a délce 800 mm, CB II o průměru 16 mm a délce nejméně 800 mm. Ve střední části v délce cca 200 mm musí být tyto prvky opatřeny dlouhodobě funkční ochrannou vrstvou proti korozi podle zvláštních předpisů (TP 136 *Povlakovaná výztuž do betonu* [17]).

Čerstvý beton

Informativní hodnoty dávkování cementu jsou následující:

Cementobetonové kryty CB I a CB II	min. 350 kg/m ³
Cementobetonové kryty CB III	min. 330 kg/m ³

Požadavky na obsah vzduchu v čerstvém betonu jsou uvedeny v **Tab. 4**:

Tab. 4 Obsah vzduchu v čerstvém betonu v místě pokládky

Druh betonu	Minimální obsah vzduchu v čerstvém betonu [% obj.]	
	Denní průměr	Jednotlivá hodnota
Beton bez plastifikační nebo superplastifikační přísady	4,0	3,5
Beton s plastifikační nebo superplastifikační přísadou	5,0	4,5

Požadavky na ztvrdlý beton jsou uvedeny v **Tab. 5**:

Tab. 5 Ztvrdlý beton

Vlastnost	Požadavky pro cementobetonové kryty		
	CB I	CB II	CB III
Třída pevnosti v tlaku podle ČSN EN 206-1	C 30/37		C 25/30
Třída pevnosti v tahu ohybem (zkoušeno podle ČSN EN 12390-5, obr. 1)	F 4,5		F 4,0
Třída pevnosti v příčném tahu (zkoušeno podle ČSN EN 12390-6)	nepředepisuje se		
Stupeň vlivu prostředí podle ČSN EN 206-1	XF4		dle dokumentace
Kategorie odolnosti proti zmrazování a rozmrazování podle CEN/TS 12390-9	FT2	FT1	FT0
- nejmenší počet cyklů	m56/m28	m28	dle dokumentace
Odolnost povrchu cementobetonových krytů proti zmrazování a rozmrazování podle ČSN 73 1326 metoda A/metoda C - nejmenší počet cyklů - maximální počet cyklů	100/75 1000	75/50 1000	dle dokumentace
Maximální součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů podle ČSN EN 480-11 [mm]	0,24	0,24	nepředepisuje se

Postříkové hmoty

Pro ošetření čerstvého betonu nesmí být použito takových hmot, které narušují průběh tuhnutí a tvrdnutí betonu. U používaných hmot je třeba zkouškami podle ČSN 73 6180 *Hmoty pro ošetřování povrchu čerstvého betonu* [14] prokázat jejich ochrannou účinnost a stanovit vhodné dávkování postříku za různých povětrnostních podmínek.

Postříkové hmoty vytvářejí na matném povrchu čerstvého betonu souvislý, poddajný a parotěsný film, který se má stát nelepivým nejdéle za 5 hodin. Hmota musí být stříkatelná i při nejnižší teplotě + 5 °C.

Vytvořený povrchový film musí zůstat neporušený nejméně 7 dní po nanesení a po 4 týdnech má docházet k jeho postupnému rozpadu, aby bylo umožněno vyschnutí betonu ještě před zimním obdobím.

3.1.6 Konstrukční zásady

Cementobetonové kryty jsou kryty tuhých vozovek z nevyztuženého nebo vyztuženého betonu pokládáné v jedné (jednovrstvový) nebo dvou vrstvách (dvouvrstvový).

Dvouvrstvový cementobetonový kryt je dvoufázově betonovaný kryt se spodní konstrukční vrstvou [CB(S)] a horní obrušnou vrstvou [CB(H)], pokládanou při provádění na čerstvý beton spodní vrstvy.

Cementobetonové kryty vozovek bez zvláštní úpravy jsou vhodné v úsecích s podélným sklonem menším než 5 %. Při větším podélném sklonu jsou nutné zvláštní úpravy povrchu.

Podkladní vrstvy cementobetonových krytů mohou být zhotovené:

- a) ze směsí stmelených hydraulickými pojivy a jinými vhodnými materiály;
- b) z nestmeleného kameniva takové zrnitosti směsi, která zajistí předepsanou únosnost (např. mechanicky zpevnění kamenivo);
- c) z asfaltem stmelených vrstev;
- d) z prolévaných vrstev.

Podkladní vrstvy musí být navrhovány v takové šířce, aby byl umožněn pojezd strojů při pokládání cementobetonového krytu vozovky. Minimální rozšíření na každou stranu pro pojezd finišeru musí být 600 mm.

Rozměry desek

Pokud je cementobetonový kryt prováděn technologií dvouvrstvé betonáže, musí se pro obě vrstvy použít stejný druh a třída cementu jednoho výrobce. Pro horní a spodní vrstvu skupiny CB I se doporučují stejné pevnostní parametry.

Šířka desky (vzdálenost mezi jejím okrajem a podélnou spárou, popř. mezi dvěma sousedními podélnými spárami) má být u nevyztužených krytů menší než:

- 4,5 m na pozemních komunikacích a okrajích letištních ploch;
- 7,5 m na letištních drahách a plochách.

Délka desky (vzdálenost mezi dvěma příčnými spárami) v případě nevyztuženého cementobetonového krytu nebo krytu s kluznými trny v příčných spárách nemá být větší než 25násobek tloušťky desky. V tunelech nesmí délka desky překročit 20násobek její tloušťky.

Délka desky nesmí překročit 1,5násobek šířky desky, nejvyšší přípustná délka desky nevyztuženého cementobetonového krytu je však 6,0 m a nejmenší délka 3,0 m. Je-li poměr šířky k délce menší než 0,4, musí být deska vyztužena.

U vyztužených desek určuje velikost desek dokumentace stavby.

Nejmenší tloušťka desky (jednovrstvového a dvouvrstvového krytu) je z technologického hlediska 100 mm. U dvouvrstvové pokládky musí být tloušťka každé vrstvy nejméně 50 mm.

Pokud možno, je třeba se vyvarovat deskám s ostrými úhly a deskám se silně zakřivenými tvary.

U horního povrchu cementobetonového krytu má být krytí výztuže minimálně 40 mm a jmenovité krytí minimálně 50 mm. U spodního povrchu má být krytí výztuže minimálně 40 mm.

Spáry

V cementobetonovém krytu jsou zřizovány spáry:

- příčné
- podélné

Podle konstrukční úpravy a technologického postupu se příčné spáry zhotovují jako:

- smršťovací (kontrakční), které mohou být zhotoveny s kluznými trny nebo bez těchto trnů;

- prostorové (dilatační), které mohou být zhotoveny s kluznými trny nebo bez těchto trnů. Tyto prostorové spáry se nevytvářejí, pokud je mezi cementobetonovým krytem a příslušným objektem asfaltový kryt o min. délce 15 m;
- pracovní (s kluznými trny nebo bez těchto trnů).



Obr. 1 Smršťovací spára

- Cementobetonové kryty o šířce větší než 4,25 m mají jednu, o šířce větší než 8,5 m dvě podélné spáry. Podélné spáry nesmí být umístěny ve stopě vozidel a mají být umístěny ve vzdálenosti minimálně 100 mm od vodorovného dopravního značení.
- Kluzné trny v příčných spárách a kotvy v podélných spárách se používají u CB I, případně u CB II. Na ostatních komunikacích může být zabezpečeno spolupůsobení desek pouze na ozub.
- Smršťovací spáry se doporučuje provádět řezáním ztvrdlého betonu kotoučovými pilami zpravidla kolmo na osu cementobetonového krytu, hloubka řezu se doporučuje u příčných spár 0,35 až 0,40 h a u podélných spár 0,40 až 0,45 h, kde h je tloušťka cementobetonového krytu.
- Úzké spáry se v horní části rozšíří drážkou. U podélných spár je zpravidla dostačující rozšíření na 6 mm, u příčných smršťovacích spár na 8 mm. Pokud to nepředepisuje dokumentace, provede se zkosení hran spár, které zajistí příznivější podmínky pro dlouhodobou účinnost těsnění spár. Zkosení se provádí pod úhlem 45° a jeho šířka musí být 1 až 3 mm.

- Poměr šířky a hloubky drážky se uvádí jako modul spáry a poměr šířky a výšky těsnící hmoty v drážce spáry jako modul těsnění. Při šířce drážky do 12 mm se doporučuje modul těsnění 1:1 a při šířce nad 12 mm modul těsnění 2:1.
- V případě, že se spáry těsní pryžovými profily, musí být hloubka drážky rovná výšce těsnícího profilu, zvětšené o 1 mm až 2 mm. Obvyklá výška profilů je 30 mm.

Kluzné ocelové trny a ocelové kotvy

Musí splňovat požadavky ČSN EN 13877-3 *Cementobetonové kryty – Část 3: Specifikace pro trny, používané do cementobetonových krytů* [11].

Vzdálenost mezi kotvami nesmí být větší než 2 m, vzdálenost mezi kluznými trny nesmí být větší než dvanáctinásobek jejich průměru. Vzdálenost mezi kluznými trny může být zdvojnásobena u dopravních pruhů s lehkým dopravním zatížením (např. u dopravních pruhů pro předjíždění), u zpevněných krajnic a mezi stopami kol v pruzích s těžkým dopravním zatížením.

Kluzné trny mají být uloženy následovně:

- Osa kluzného trnu ve výšce $h/2$ minus poloměr kluzného trnu (kde h je tloušťka cementobetonového krytu). Uložení pod osou cementobetonového krytu je doporučeno z důvodu zvýšení hloubky řezu smršťovací spáry.
- V jedné rovině, rovnoběžně s povrchem cementobetonového krytu a s podélnou osou betonovaného pruhu, zpravidla ve vzájemné vzdálenosti 250 mm.
- Rozmístění a vzdálenosti kluzných trnů určuje dokumentace stavby. Nejčastější rozmístění kluzných trnů v příčných spárách je jejich rovnoměrné rozmístění po 250 mm ve všech jízdnicích pruzích včetně krajnice.
- Vzdálenost vnějšího trnu od okraje desky nesmí být menší než 250 mm.

Kotvy se umísťují tak, aby osa kotvy byla ve výšce $h/2$ minus poloměr kotvy (kde h je tloušťka cementobetonového krytu), kolmo na podélnou spáru, rovnoběžně s povrchem cementobetonového krytu.

Kotvy se umísťujú zpravidla po troch na desku ve stejných vzdálenostech od sebe. U podélných pracovních spár musí být počet vkládaných kotev takový, aby jejich vzdálenost nebyla větší než 1 m, přitom vzdálenost krajních kotev od příčné spáry musí být maximálně 0,5 m.



Obr. 2 Automatické vkládání trnů v místě příčné spáry a ruční zavibrování kotev

3.1.7 Technologické postupy prací

Finišery

Ke stavbě betonových vozovek se používají finišery s posuvnými nebo pevnými bočnicemi.

Finišery s pevnými bočnicemi lze s výhodou použít zejména při betonáži dodatečně přibetonovaných pruhů, dopravních ploch apod. Tloušťka bočnic musí být min. 5 mm. Pro bednění krytů CB III je možno použít i dřevěné bočnice. Bednění musí být opatřeno účinným odbedňovacím nátěrem.

Pro betonáž krytů CB I a CB II musí být finišer vybaven podélným hladičem, který má příznivý vliv na rovnost a hlučnost povrchu.

Pokládka cementobetonového krytu

Zvýšenou pozornost je třeba věnovat rovnoměrnému rozprostření čerstvého betonu před finišerem a pravidelnému a rovnoměrnému postupu finišeru.

Čerstvý beton se zhutňuje strojně. Zhutňovací zařízení finišeru musí působit rovnoměrně po celé šíři betonovaného pásu tak, aby byl beton zpracován v celé tloušťce. Tloušťka cementové malty, měřená na vývrtech nebo při betonáži, nesmí být větší než 1 mm. Povrch vozovky musí být po zhutnění rovný a uzavřený.

Nachází-li se pod cementobetonovým krytem nasákavý podklad, který by mohl při pokládce odnímat záměsovou vodu z čerstvého betonu, je nutno jej před pokládkou krytu dostatečně provlhčit a udržovat ve vlhkém stavu, nesmí na něm ale vzniknout kaluže. Plocha pro pojezd finišeru včetně plochy pod bočnicemi musí být čistá.

V případě přerušení plynulé dopravy betonu musí řidič finišeru zpomalit postupovou rychlost stroje tak, aby zastavení finišeru netrvalo déle než 3 min. Při zastavení finišeru musí být vypnuta vibrace hladících trámů. Časté přerušování a zpomalování betonáže je důvodem pro zastavení betonáže až do doby, kdy bude zajištěna organizační náprava.

Jestliže zastavení pokládky čerstvého betonu přesáhne časový limit začátku tuhnutí, což je při teplotě 20 °C 120 min. od jeho vyrobení, je nutno vytvořit pracovní spáru. Pracovní spára se vytváří buď betonáží do speciálního bednění včetně výztužných vložek nebo odříznutím, tj. řezem v mladém, avšak zatvrdlém betonu a po dodatečném osazení výztužných vložek.

Staveništní dopravu po hotovém cementobetonovém krytu lze povolit až po dosažení předepsaných pevností po 28 dnech za podmínky, že spáry byly alespoň provizorně ochráněny (utěsněny).

Úprava styku cementobetonového a asfaltového krytu

Pokud je na mostním objektu asfaltový kryt a jsou použity povrchové mostní závěry, musí být cementobetonový kryt ukončen z důvodu případného vyrovnání výšek v mezích přípustných tolerancí ve vzdálenosti nejméně 15 m od závěru.

Na styku cementobetonového a asfaltového krytu se provede některé z následujících konstrukčních opatření pro zamezení posunu betonových desek v podélném směru:

- Zesílení dvou koncových desek cementobetonového krytu na jeden a půl násobek (ve třetí desce od styku je zřízen náběhový klín);
- Řady svislých ocelových kotev zasahujících do stmelенých podkladních vrstev;
- Betonové prahy.

Rovnost a drsnost povrchu

Požadavky na protismykové vlastnosti povrchu a na makrotexturu povrchu při povrchové úpravě cementobetonového krytu zdrsněním podrobně specifikuje dokumentace stavby s přihlédnutím k požadavkům na minimalizaci hlukových emisí.

- Povrch se upravuje vlečenou vlhčenou jutou o plošné hmotnosti min 300 g/m^2 a délce pásu, který je ve styku s čerstvým povrchem krytu, min. 2 m. Je-li uvedeno v dokumentaci stavby, lze ve zvláštních případech provádět též tzv. „okartáčované“ povrchy za dodržení opatření, která platí pro tuto technologii, případně jinou schválenou úpravu povrchu. U odstavných ploch a parkovišť se povrchová úprava zajišťující protismykové vlastnosti nevyžaduje. U vozovek skupiny I se klade zvláštní důraz na dobré drenážní vlastnosti, tzn. rychlý odtok vody z povrchu krytu.
- Povrchová úprava musí být provedena tak, aby byla zajištěna homogenita makrotextury.
- Dlouhodobá drsnost je zajištěna zvýšenými požadavky na výběr drobného kameniva a na odladitelnost hrubého kameniva.
- V některých zemích (např. Rakousko) se provádí vymývání povrchu tlakovou vodou.

Ošetřování čerstvého betonu, ochrana betonu

Cementobetonový kryt se musí ihned po dohotovení chránit proti rychlému odparu vody. Beton lze chránit proti rychlému odparu vody např. ochranným postříkem parotěsnými látkami, přikrytím fólií, geotextiliemi, rohožemi, stříškou (pojízdňým vlakem), mlžením apod. Způsob ochrany musí být přiměřený daným klimatickým podmínkám.

Způsob a doba ošetřování čerstvého betonu musí být zpracovány v technologickém předpisu zhotovitele a odsouhlaseny objednatelem/správcem stavby před zahájením prací. Je možné použití pojízdných stříšek (vlaku), zejména při nepříznivých klimatických podmínkách.

Mlžení je vhodné doplňující ošetřování povrchu za vysokých teplot.

Zakrytí geotextiliemi nebo rohožemi je vhodnou ochranou za vysokých i nízkých teplot.

V letním období musí být geotextilie/rohože udržovány ve vlhkém stavu.

V období květen až září musí být použity světlé ochranné hmoty.

Řezání a těsnění spár

Vybavenost zhotovitele dostatečným počtem řezacích strojů musí být taková, aby umožňovala včasné řezání spár. K předcházení vzniku divokých smršťovacích trhlin je nutno volit vhodnou dobu řezání spár.

Poloha příčných a podélných spár se vyznačí a provádí s přesností ± 10 mm, zvláště v případě krytu s vyztuženými a kotvenými spárami.

Příčné spáry

Spáry se vytváří řezáním. V některých případech lze v souladu s dokumentací stavby vytvářet spáry i jiným způsobem, např. vkládáním vhodných vložek do betonu.

Příčné smršťovací spáry v rozsahu celého denního úseku betonáže se mají řezat v tzv. „otevřené době řezání“, tj. v době, kdy je cementobetonový kryt v důsledku hydraulického a teplotního napětí předpjatý, tj. do doby než teplota cementobetonového krytu dosáhne maxima. Při řezání nesmí docházet k vytrhávání zrn kameniva a k olamování hran spár. Příčné spáry se musí řezat postupně. Pouze za kritických okolností, např. při extrémně nepříznivých klimatických podmínkách, lze nejdříve řezat každou třetí spáru a dodatečně mezilehlé spáry, všechny však nejpozději do 24 hod. po betonáži.

Co nejdříve po proříznutí smršťovací spáry na požadovanou hloubku musí být řezný kal ze spáry beze zbytku odstraněn tlakovou vodou, aby neztvrdly případné zbytky nezhydratovaného cementu, obsaženého v kalu. Na vozovkách pozemních komunikací se příčné spáry opatří bezprostředně po vyčištění ochranným profilem o průměru větším než je řez spáry.

Tento ochranný profil se vkládá těsně pod povrch krytu jako provizorní těsnění, které zamezuje vniknutí nečistot do spáry během staveništního provozu. Pokud nebude vozovka pojížděna staveništním provozem, nemusí být toto provizorní těsnění na základě rozhodnutí objednatele/správce provedeno.

Pro možnost definitivního utěsnění spár se příčné spáry rozšíří drážkou na šířku 8 – 10 mm (konkrétní šířku stanoví dokumentace stavby) a hloubku min. 25 mm (při použití pružných vložek k utěsnění spár je hloubka rozšiřovací drážky určena výškou těsnicí vložky). Hloubka drážky musí být provedena s přesností ± 2 mm. Tato rozšiřovací drážka se vytváří bezprostředně před utěsněním spár, a to jako souměrná vzhledem k původnímu řezu spáry. V době mezi provedením rozšiřovací drážky a utěsněním spár musí být v příslušném úseku cementobetonového krytu vyloučen jakýkoliv provoz.

Příčné pracovní spáry se vytvářejí v čerstvém betonu vložení speciálního příčného bednění, umožňujícího osazení výztužných trnů. Po odbednění se pokračuje v betonáži cementobetonového krytu. Při přípravě spáry pro utěsnění se postupuje stejně jako u spár smršťovacích.

Podélné spáry

Spáry se vytváří řezáním. Ve výjimečných případech a po odzkoušení technologie lze vytvářet spáry také vkládáním pryžové vložky při betonáži. Tento způsob vytváření podélné spáry musí zajistit správnou funkci spáry a beton v oblasti podélné spáry nesmí vykazovat zhoršené vlastnosti proti okolnímu betonu.

Podélné smršťovací spáry, pokud nejsou vytvořeny pomocí vkládané pryžové vložky, se musí proříznout následně po nařezání příčných spár, nejpozději však do 48 hod. po řezání příčných spár. Pokud mají být na vybetonovaném pásu dvě nebo více podélných spár, musí se všechny spáry řezat současně.

Následně, pro možnost utěsnění spár, se podélné spáry rozšíří drážkou na šířku 8 mm a hloubku min. 25 mm. Hloubka drážky musí být provedena s přesností ± 2 mm.

Podélné pracovní spáry se vytvářejí jako souvislé těsné spáry na sraz. Rozšiřovací drážka pro těsnění se vytvoří dodatečně prořezáním v zatvrdlém betonu podle zásad pro podélné spáry.

V cementobetonovém krytu na stmelených podkladních vrstvách je vhodné provádět řezání podélných spár co nejdříve po nařezání příčných spár.

Těsnění spár

Definitivní utěsnění se provádí po vyzrání a vyschnutí betonu. Těsnění nesmí být provedeno ve stáří betonu menším než 7 dní v letním období a menším než 21 dní v jarním nebo podzimním období. Pro těsnění elastickými profily se minimální stáří betonu nepředepisuje.

Výška záливkové hmoty je vymezena v rozšiřovací drážce vymezovací vložkou, pro kterou lze použít pružnou vložku nebo provazec ze stlačitelných a nehnijících materiálů, jako např. profily z polyuretanu nebo mikroporézní pryže o průměru vždy o cca 20 % větším než je šířka těsněné spáry. Hmoty na přetěsnění nesmějí být nasákavé.

K zabezpečení adheze hmot pro utěsnění spár k betonu se podle doporučení výrobce hmot použije penetrační nebo lepicí nátěr. Penetrační nebo lepicí nátěr se nanáší rovnoměrně na čelní stěny betonových desek ve spáře po vymezení výšky hmoty pro těsnění spár vymezovací vložkou. Před nanesením penetračního nebo lepicího nátěru (nástřikem z upravené trysky tlakovzdušného přístroje nebo na stavbách malého rozsahu štětcem) musí být vymezovací vložka i beton čistý a suchý. Nátěr musí být nanesen v dostatečném množství, tzn. i v několika vrstvách podle údajů výrobce.

V technologickém předpisu musí být uvedeno ustanovení, kdy je třeba nátěr obnovit z hlediska klimatických nebo časových podmínek (déšť, ponechání nátěru stěn spáry přes noc apod.)

Zálivka spár nesmí přesahovat nad povrch cementobetonového krytu vozovky. Povrch zálivky příčných spár má být o 1 až 3 mm níže než je povrch vozovky, podélné spáry se těsní do úrovně povrchu krytu s tolerancí 0 až – 2 mm.

Spáry lze vyplňovat záливkovou hmotou za tepla zalévačem spár, vybaveným nepřímým regulovatelným ohřevem záливkové hmoty, teploměrem, účinným míchadlem a čerpadlem na dopravu záливkové hmoty k plnicí trysce.

Vyplňování spár záливkou za studena nebo tmelem se provádí:

- zalévačem spár vybaveným účinným míchadlem a čerpadlem pro dopravu hmoty pro utěsnění spár k plnicí trysce;
- pomocí vytlačovací pistole ovládané tlakovým vzduchem hydraulicky nebo mechanicky.

Elastické profily, používané pro trvalé nebo dočasné těsnění spár, lze užít jen na základě technických dodacích podmínek pro elastické těsnicí profily ZTV Fug3-StB 95 (SRN),

nebo technologického předpisu zpracovaného zhotovitelem a odsouhlaseného objednatelem/správcem stavby.

Zálivky spár musí být provedeny esteticky, bez znečištění povrchu okolního krytu.

3.2 Opravy cementobetonových krytů [18]

3.2.1 Jednotlivé typy a způsoby rekonstrukce

Základní způsoby rekonstrukce vozovek s CB krytem z hlediska skladby konstrukčních vrstev vozovky jsou podrobněji popsány v **Tab. 6**:

- úplná rekonstrukce vozovky,
- rekonstrukce CB krytu,
- rekonstrukce zesílením – tomuto způsobu je věnována převážná část TP 91.

Tab. 6 Způsoby rekonstrukce CB vozovek z hlediska skladby konstrukčních vrstev

Způsob rekonstrukce	Specifika návrhu
<u>Úplná rekonstrukce vozovky:</u> <ul style="list-style-type: none"> tuhou vozovkou ¹⁾ podle TP 170 netuhou vozovkou ²⁾ podle TP 170 	<p>Neliší se v podstatě od novostaveb.</p> <p>Nutno řešit navíc:</p> <ul style="list-style-type: none"> podrobnější průzkum podloží, návaznost na stávající odvodňovací systém a jeho případnou rekonstrukci, návrh využití materiálu z jednotlivých konstrukčních vrstev jako recyklovaného kameniva.
<u>Rekonstrukce CB krytu:</u> <ul style="list-style-type: none"> novým CB krytem (doporučuje se) podle ČSN 73 6123-1 asfaltovými vrstvami podle ČSN 73 6121 a ČSN 73 6122 	<p>Neliší se v podstatě od návrhu krytu novostaveb.</p> <p>Nutno řešit navíc:</p> <ul style="list-style-type: none"> otázku případných lokálních oprav podkladních vrstev a podloží z hlediska homogenizace podkladu, otázku dosažení požadovaného příčného sklonu (odfrézování či navýšení části podkladní vrstvy), návaznost tloušťek nového krytu na tloušťku stávajících desek CB krytu (niveleta vozovky), návrh využití materiálu z rekonstruovaného CB krytu jako recyklovaného kameniva.
<u>Rekonstrukce zesílením:</u> <ul style="list-style-type: none"> asfaltovými vrstvami podle kapitoly 5 TP 91 novým CB krytem ³⁾ podle kapitoly 5 TP 91 	<p>Jde o přidání nových vrstev vozovky, přičemž stávající CB kryt zůstává zachován. Mezi základní způsoby úpravy starého CB krytu před jeho zesílením patří:</p> <ul style="list-style-type: none"> lokální opravy, segmentace a usazení starých desek, rozdrcení CB krytu na místě (vznik kvalitní nestmelené podkladní vrstvy) ⁴⁾. <p>Nutno řešit:</p> <ul style="list-style-type: none"> způsob napojení zesílení na stávající kryt vozovky, jak zabránit prokopírování spár a trhlin do vrstev zesílení vozovky, zvýšení nivelety vozovky, přechod na začátku a konci rekonstruovaného úseku a v místech napojení na ostatní komunikace, minimální požadovaná průjezdná výška v místě křížení komunikace s objekty jako mosty apod.

¹⁾ netuhá vozovka – vozovka s AB krytem

²⁾ tuhá vozovka – vozovka s CB krytem

³⁾ technologie zesílení novým CB krytem byla použita zatím pouze na letištích

⁴⁾ technologie rozdrčení CB krytu na místě nebyla zatím v ČR použita

V **Tab. 7** jsou uvedeny 3 typy rekonstrukce vozovky s CB krytem z hlediska půdorysného uspořádání vozovky:

- rekonstrukce na celou šířku vozovky,
- rekonstrukce jednoho jízdního pruhu,
- rozšíření jízdního pásu.

Tab. 7 Zákl. typy rekonstrukce CB vozovky z hlediska půdorysného uspořádání

Typ konstrukce	Specifikace návrhu
Rekonstrukce na celou šířku vozovky	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zachování stávajícího šířkového uspořádání (stejný počet jízdních pruhů), ▪ v případě zesílení vozovky je nutné dodržení předepsané šířky krajnice a požadavků na umístění svodidel, ▪ v případě rekonstrukce CB krytu novým CB krytem se doporučuje provést zpevněnou krajnici také jako cementobetonovou, ▪ je potřeba zajistit napojení na stávající systém odvodnění.
Rekonstrukce jednoho jízdního pruhu	<p>Týká se zpravidla pravého jízdního pruhu, který má díky vyššímu zatížení nákladní dopravou kratší životnost, než ostatní jízdní pruhy. Tloušťka krytu je dána tloušťkou stávajícího krytu desky, případně také výškou odstraněné mezivrstvy či odfrézované části podkladní vrstvy.</p> <p>Nutno řešit navíc:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ druh materiálu krytu (pokud se nahrazují desky CB krytu, musí jít o beton), ▪ napojení rekonstruovaných dopravních pruhů na sousední pruh(y) a/nebo krajnici (nové desky jsou připojeny k původním deskám kotvami), ▪ zajištění plynulého odtoku srážkových vod z povrchu, ▪ dodržení spárořezu starých desek na novém CB krytu, ▪ opatření ke snížení vibrací způsobených provozem v době tvrdnutí čerstvého betonu.
Rozšíření jízdního pásu	<p>Protože se dopravní zatížení na významných PK s postupem času zvyšuje, je třeba při každé zamýšlené obnově CB krytu přezkoumat potřebu a možnosti rozšíření vozovky o nové jízdní pruhy (např. rozšíření ze 4 jízdních pruhů na 6). Jedním z častých důvodů je zřizování stoupacích jízdních pruhů pro pomalá vozidla.</p> <p>Nutno řešit navíc:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ rozšíření nebo posun objektů na komunikaci (mosty, protihlukové stěny, portály, dopravní značky apod.), ▪ druh materiálu krytu (pokud se stávající pravý jízdní pruh s CB krytem, doporučuje se, aby kryt přilehlého jízdního pruhu byl vyroben také z betonu), ▪ rozdíl v sedání mezi jízdními pruhy a krajnicemi v příčném řezu, ▪ stupňovitá stavba rozšířeného násypového tělesa se zhutněním po vrstvách (vyloučení anebo minimalizace dodatečného sedání zemního tělesa), ▪ odkop hmot v zářezech s možností opětovného využití takto získaných zemin, ▪ napojení nového CB krytu na původní CB kryt (dodržení spárořezu starých desek, výškové poměry, sklony), ▪ odvodnění v oblasti nově zřizovaných podélných spár a napojení na stávající systém odvodnění, atd.

3.2.2 Postup při výběru typu a způsobu rekonstrukce

Na **Obr. 3** je uvedeno základní rozdělovací schéma pro volbu rekonstrukce úseku vozovky s cementobetonovým krytem, včetně odkazů na příslušné technické předpisy a části TP 91.

Zařazení úseku PK do přípravy na rekonstrukci

Rozhodnutí o zařazení úseku PK do přípravy na rekonstrukci se provede na základě hodnocení technického stavu vozovky (především provozní způsobilosti a únosnosti vozovky), hodnocení nákladů spojených s prováděním údržby a oprav vozovky, aktuální intenzity dopravy a jejím předpokládaném vývoji a s ohledem na specifické požadavky vlastníka PK.

Technický stav vozovky

Hodnocení technického stavu vozovky následné vytváření homogenních sekcí a návrh technologie údržby/opravy nebo rekonstrukce se provádí podle příloh 1 až 3 TP 92 [19].

V některých případech se vyplatí rekonstrukce pouze jednoho jízdního pruhu – zpravidla se to týká pravého jízdního pruhu na čtyř a vícepruhových PK, který je zatěžován převážně nákladní dopravou.

Nejčastější příčiny pro zařazení úseku PK do rekonstrukce jsou:

- 25 % desek má aktivní trhliny – respektive více než jednu trhlinu na desku,
- průměrná hodnota IRI je větší než 6,3 m/km,
- plošný rozpad povrchu (koroze betonu do hloubky až 2 cm) je větší než 5 % z celkové plochy,
- nerovnosti na příčných spárách jsou 10 mm a na více než 15 % spár,
- pokud je zbytková doba životnosti t_z kratší než 5 let.

Ekonomická hlediska

Zohledňují se především náklady správce PK odpovídající jednotlivým variantám rekonstrukce vozovky a předpokládaná doba životnosti těchto variant. Přihlíží se také k uživatelským nákladům (omezení provozu, objízdné trasy). Detaily jsou uvedeny v kapitole 10 TP 91.

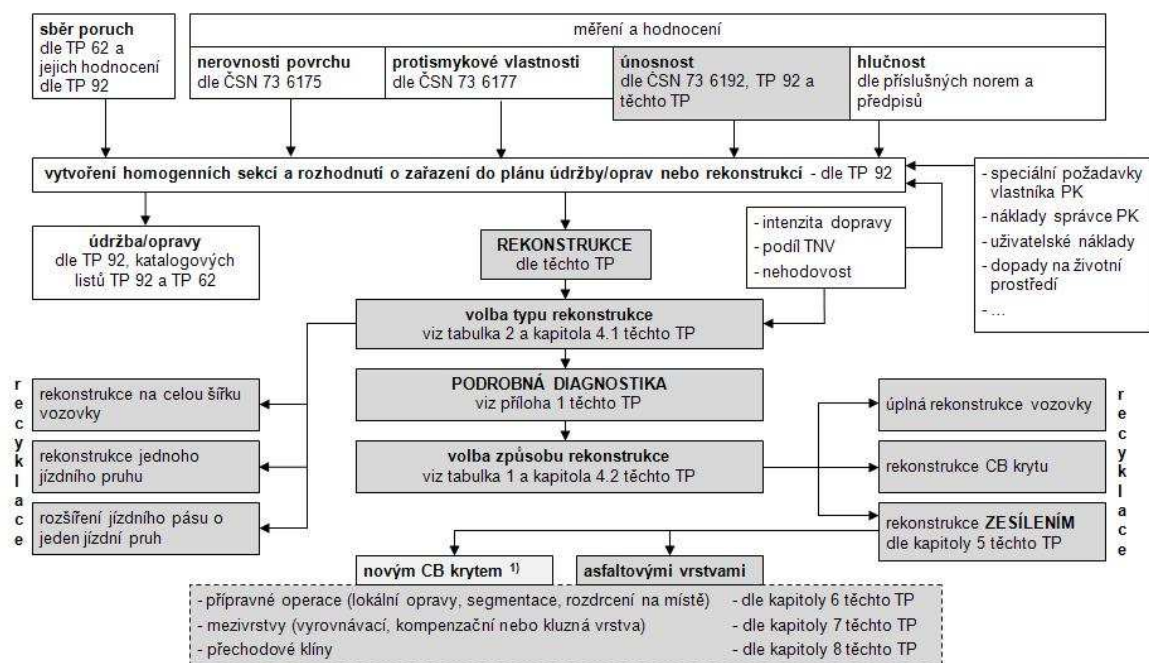
Intenzita dopravy

Dopravní zatížení PK a předpověď vývoje intenzity dopravy je důležitá při plánování rozšíření vozovky o další jízdní pruhy. S tím může souviset požadavek na homogenizaci povrchu v celé šířce vozovky.

Jiné důvody

Mimo výše uvedených příčin může být rekonstrukce vozovky naplánovaná například z důvodu:

- úpravy příčného sklonu vozovky,
- úpravy nivelety vozovky,
- úpravy objektů v blízkosti PK atd.



Poznámka: TP 91 řeší jen činnosti označené šedou barvou, ¹⁾ technologie zesílení novým CB krytem byla v ČR použita zatím pouze na letištích

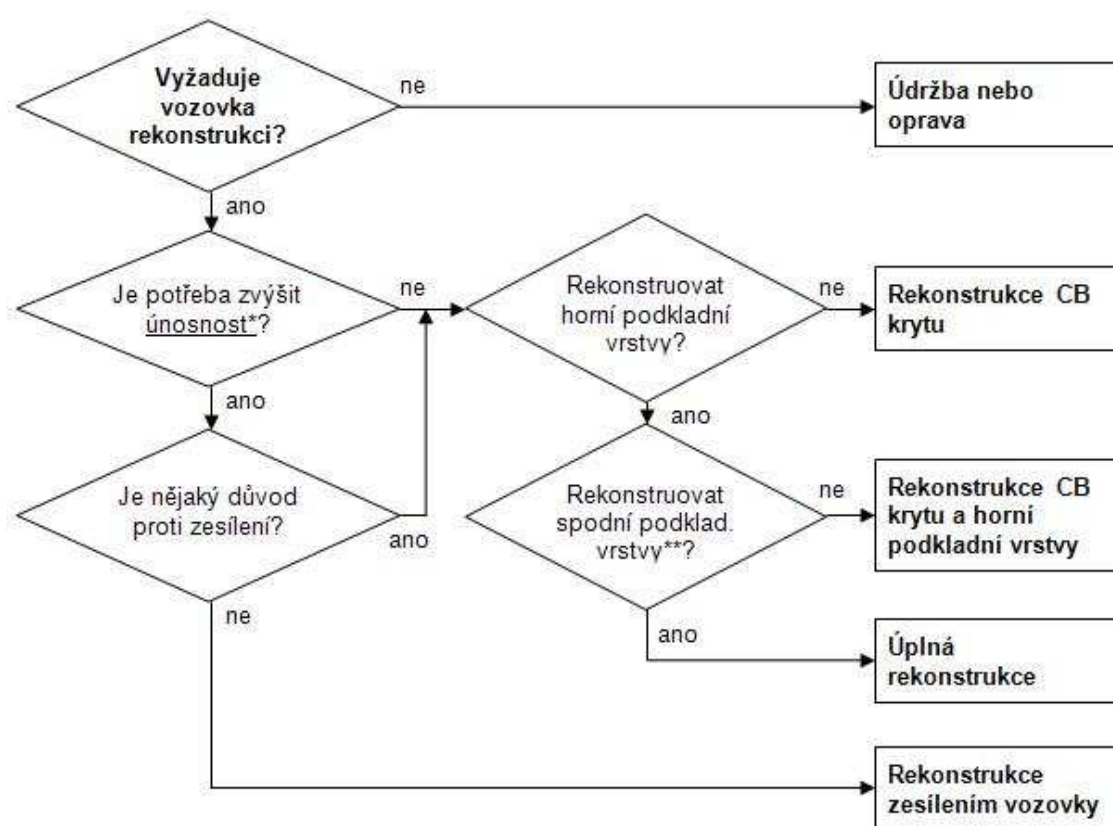
Obr. 3 Rozhodovací schéma pro volbu rekonstrukcí vozovek s CB krytem

Rozhodnutí o způsobu rekonstrukce

Rozlišuje se:

- úplná rekonstrukce vozovky (tj. všech konstrukčních vrstev),
- rekonstrukce CB krytu (zpravidla po úplném odstranění stávajícího CB krytu – resp. po odstranění mezivrstvy nebo odfrézování části podkladní vrstvy),
- rekonstrukce zesílením stávajícího CB krytu.

Základní rozhodovací schéma pro volbu způsobu rekonstrukce je uvedeno na **Obr 4**.



* požadavek na zvýšení únosnosti vozovky zpravidla vyžaduje zvětšení tloušťky krytu vozovky

** v této fázi může dojít také k výměně ochranné vrstvy vozovky

Obr. 4 Rozhodovací schéma pro volbu způsobu rekonstrukce

Úplná rekonstrukce

V podstatě se jedná o projekt nové vozovky řešený podle TP 170 [20].

Úplná rekonstrukce je nutná v následujících případech, které mohou nastat samostatně nebo současně, ale vždy jsou doprovázeny poruchami CB krytu (zejména pracující trhliny, nerovnosti na spárách aj.), které obvykle přesahují 25 % plochy vozovky:

- podloží vozovky nevyhovuje pro požadované dopravní zatížení; v tomto případě je nutno obvykle sanovat podloží v celém rozsahu a následně provést novou konstrukci,
- ochranná vrstva neplní své funkce v systému odvodnění celé vozovky, resp. z hlediska kritérií ochrany proti mrazu,
- podkladní vrstvy nevyhovují pro požadovanou dobu životnosti, resp. je nutná sanace podkladních vrstev vozovky,
- jiná hlediska specifikovaná správcem (např. nelze zvyšovat niveletu zesílením vozovky).

Rekonstrukce CB krytu

Provádí se v případě únosných a neporušených podkladních vrstev je nutná obvykle v následujících případech, které mohou nastat samostatně nebo současně:

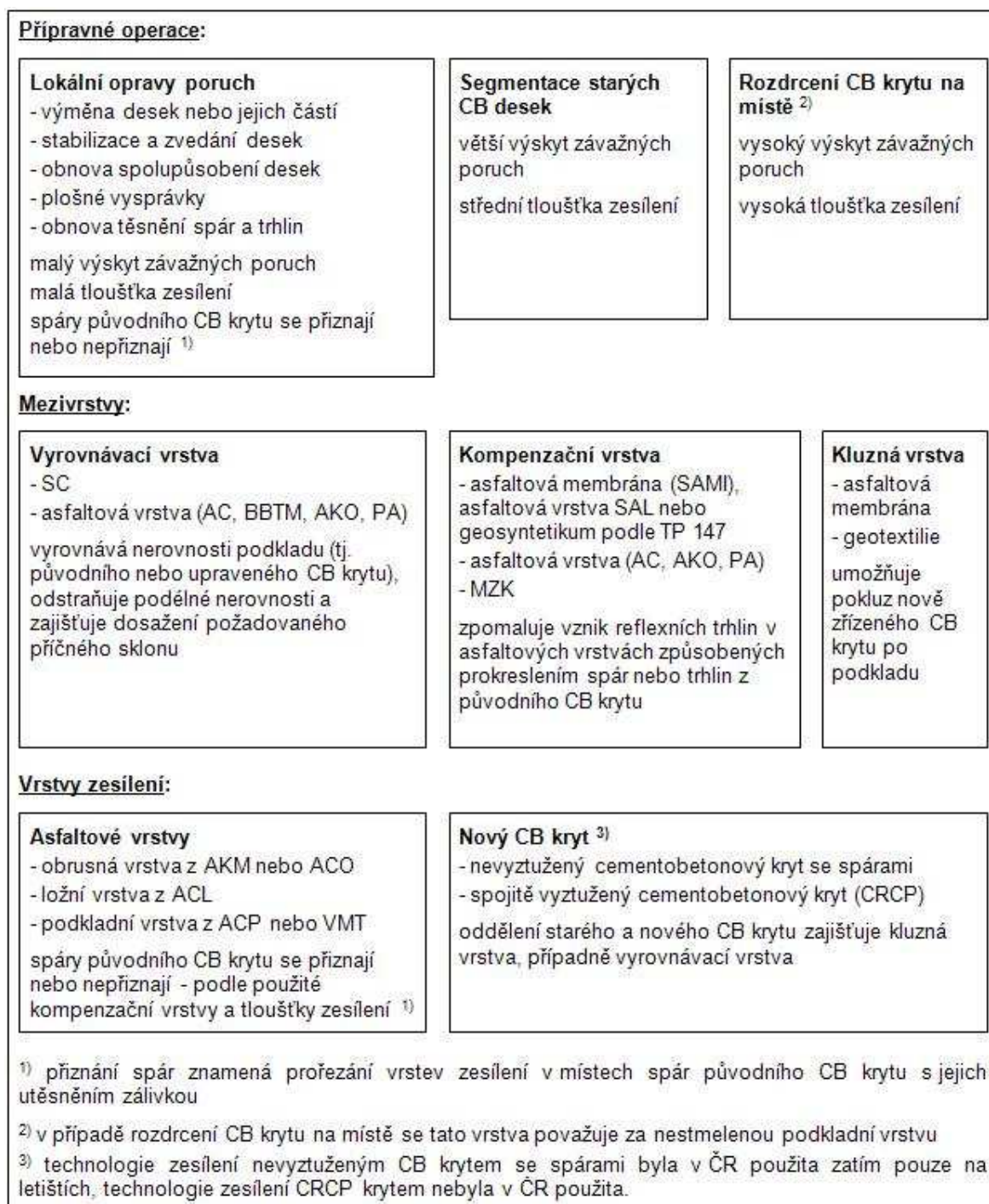
- a) tloušťka CB krytu nevyhovuje z hlediska životnosti požadovanému dopravnímu zatížení a vyžadují se pouze lokální opravy podkladních vrstev do 10 % plochy vozovky),
- b) poruchy CB krytu (zejména aktivní trhliny, nerovnosti na spárách, plošný rozpad povrchu) přesahují 25 % plochy vozovky a rekonstrukce zesílením není možná nebo ekonomicky vhodná,
- c) jiná hlediska specifikovaná správcem (např. nemožnost nebo nevhodnost zvyšování nivelety, anebo jen v omezeném rozsahu).

Rekonstrukce zesílením

Rekonstrukce zesílením vozovky se navrhuje v případech, kdy se provádí úplná rekonstrukce nebo rekonstrukce CB krytu a kdy jsou údržba a opravy již nedostatečné. Zesílení se navrhuje buď asfaltovými vrstvami, nebo nově položeným cementobetonovým krytem.

Základní varianty rekonstrukce zesílením jsou popsány v katalogových listech, viz kapitola 5.3, a v příloze 2 TP 91.

Základní rozhodovací schéma pro výběr způsobu rekonstrukce vozovky zesílením je uveden na **Obr. 5**.



Obr. 5 Základní rozhodovací schéma pro rekonstrukce vozovky zesílením

Recyklace

Při výměně konstrukčních vrstev vozovky s CB krytem se doporučuje provedení jejich recyklace ve smyslu TP 208 [21].

Při náhradě starého CB krytu novým se doporučuje použít recyklované kamenivo příslušných frakcí získané z původního krytu (nejčastěji se používají frakce kameniva 8/16 a 16/32). Přednostní využití kameniva je do spodní vrstvy CB krytu, následně do podkladních vrstev. Pokud byly příčinou rekonstrukce poruchy způsobené alkalicko-křemičitou reakcí kameniva v betonu, nesmí se toto kamenivo použít do stmelených vrstev, viz TP 137 [22].

Recyklované kamenivo musí splňovat stejné požadavky jako přírodní kamenivo. Do podkladních vrstev může být mimo recyklovaného kameniva použit také recyklovaný stavebně demoliční materiál podle TP 210 [23].

Při pokládce vrstev zesílení vozovky je možné použít také R-materiál podle TP 208 [21].

3.2.3 Rekonstrukce zesílením

Návrh rekonstrukce zesílením má:

- zvýšit únosnost vozovky,
- zohlednit odolnost proti prokreslování spár a trhlin ze starého CB krytu do vrstev zesílení,
- splnit kritéria posouzení celé konstrukce tvořené stávajícími vrstvami (případně upravenými) a vrstvami zesílení.

Návrh a posouzení rekonstrukce zesílením musí zahrnovat všechny dílčí aspekty rekonstrukce, jako je vliv lokálních oprav, vliv prováděných stavebních operací (např. segmentace nebo frézování původního CB krytu), vliv proměnlivé tloušťky jednotlivých vrstev vozovky atd.

Odolnost proti prokopírování spár a trhlin

Opatření pro zvýšení odolnosti proti prokreslování spár a trhlin z podkladních desek (v důsledku jejich horizontálních a vertikálních pohybů) se navrhuje a posuzují na základě praktických zkušeností.

Vlivy, které ovlivňují vznik a rozvoj reflexních trhlin jsou:

- tloušťka zesílení vozovky,
- intenzita dopravy a podíl TNV v příslušném jízdním pruhu,
- tuhost jednotlivých vrstev a přenos zatížení,
- denní a sezónní změny teplot,
- rozměry desek CB krytu a výskyt trhlin,
- použité přípravné operace a mezivrstvy, viz **Obr. 5**.

Poznámka: Navržená opatření zcela nezabrání prokreslování trhlin a spár ze starého CB krytu do zesílení z asfaltových vrstev, jen oddálí, respektive zpomalí tento proces. Množství prokreslených spár a trhlin závisí na zvoleném způsobu zesílení vozovky (bud' vysoce odolná avšak nákladná konstrukce zesílení s minimálními náklady na údržbu trhlin, nebo méně odolná konstrukce, která však vyžaduje zvýšenou údržbu).

Posouzení rekonstrukce zesílení na základě výpočtu

Posouzení rekonstrukce zesílením se provádí pomocí speciálních softwarů. Výpočtem se ověřuje, že poměrná přetvoření jednotlivých vrstev vyhoví při posuzování na účinky namáhání. Celková tloušťka zesílení musí zajistit dostatečnou odolnost proti prokreslování spár a trhlin do vrstev zesílení vozovky.

Je třeba rozlišit, zda se provádí rekonstrukce na CB krytu staré generace (postaveny před rokem 1994, bez kluzných trnů a kotev) nebo na CB krytu nové generace (po roce 1994, s kluznými trny a kotvami).

Návrh a posouzení zesílení vozovek s cementobetonovým krytem vyžaduje značnou zkušenost a individuální přístup ke každému projektu. Od návrhu nových vozovek se liší zejména:

- složitostí modelovat nerovnoměrné a nespojitě vlastnosti podkladu (různě segmentované desky, poklesy na hranách a trhlinách, různé spolupůsobení na spárách, ztráta podporování desek atd.),
- hodnotami vstupních charakteristik materiálů jednotlivých vrstev konstrukce i podloží, které jsou více či méně ovlivněny dlouholetým provozem a jejich další chování po provedené rekonstrukci není ještě zcela prověřeno praxí.

Návrh zesílení a jeho posouzení je plně v odpovědnosti projektanta.

Poznámka: Konstrukce starších vozovek na dálnicích D1, D2 a D11 mají některá specifická řešení, která je odlišují od nových konstrukcí dálnic a ostatních tuhých vozovek. Jedná se zejména o poměrně tlusté podkladní vrstvy stabilizované cementem, asfaltovou mezivrstvou pod deskami CB krytu a spáry bez vložených kluzných trnů a kotev.

Využití katalogových listů při návrhu zesílení

Katalogové listy rekonstrukcí vozovek s CB krytem mohou být použity jako podklad pro návrh rekonstrukce bez výpočtu jen v případě PK s návrhovou úrovní porušení vozovky D2.

Pro PK s návrhovou úrovní porušení D0 a D1 mohou být použity jen ve fázi přípravy dokumentace stavby. Dokumentace stavby musí obsahovat podrobné posouzení navržené rekonstrukce.

Příloha 2 obsahuje 6 základních katalogových listů rekonstrukcí zesílením, jejich přehled je uveden v **Tab. 8**. Jiná technologická řešení, neobsažená v těchto listech, nebo jejich kombinace jsou možná, pokud splňují podmínky TP 91.

Tab. 8 Katalogové listy zesílení vozovky s CB krytem

Označ.	Celkové zesílení včetně mezivrstvy [mm]	Přípravné operace	Mezivrstva ¹⁾	Poznámka
<u>Zesílení asfaltovými vrstvami:</u>				
AB1a	40 – 70	lokální opravy poruch	kompenzační vrstva, případně vyrovnávací vrstva	s nebo bez přiznání spár zvýšená údržba trhlin
AB1b	70 – 120			
AB2a	80 – 120	segmentace starých CB desek	kompenzační vrstva doporučena	
AB2b	100 – 200			
AB3	150 - 300	rozdrcení CB krytu na místě	-	
AB4	> 150	lokální opravy poruch doporučený	vrstva MZK	
<u>Zesílení betonovými vrstvami:</u>				
CB1	nevyztuženým CB krytem se spárami	lokální opravy poruch nebo segmentace starých CB desek nebo rozdrcení CB krytu na místě	kluzná vrstva	tloušťka CB krytu závidí na návrhové úrovni porušení, tříde dopravního zatížení a posouzení konstrukce vozovky
CB2				

¹⁾ V případě potřeby odstranění nerovností podkladu nebo dosažení určitého sklonu vozovky se použije vyrovnávací vrstva.

Poznámka: Katalogový list pro překrytí vozovky s CB krytem asfaltovou vrstvou do 40 mm je uveden v příloze 4 TP 92 [19] s pořadovým číslem 20.

3.2.4 Přípravné operace před zesílením vozovky

Před vlastním provedením zesílení vozovky je potřeba provést přípravné operace, které se týkají starého CB krytu. Jde především o následující operace:

- lokální opravy poruch původní vozovky s CB krytem,
- segmentace desek původního CB krytu,
- rozdrcení CB krytu na místě.

Lokální opravy poruch původní vozovky s CB krytem

Pokud je na základě diagnostického průzkumu zjištěn, že vlastnosti stávající vozovky nezaručují dostatečnou homogenitu podkladu, navrhnou se lokální opravy. O nutnosti a

rozsahu lokálních oprav, buď celé konstrukce vozovky, nebo pouze betonových desek rozhoduje posouzení, které hodnotí přínos homogenizace vlastností konstrukce.

Při zesílení asfaltovými vrstvami jsou lokální opravy důležitější v případě menších tloušťek zesílení. Stejně tak závisí na tloušťce a typu zesílení novým CB krytem. Velkou roli hraje použití příslušné mezivrstvy a její tloušťka.

V případě provádění segmentace desek se lokální opravy nebo výměny desek obvykle nevyžadují.

Jednotlivé způsoby oprav vozovek s CB krytem jsou uvedeny v TP 92 [19] (příloha 4 uvádí 20 katalogových listů údržby a oprav) a také TP 62 [24] (příloha 5 uvádí 40 katalogových listů poruch včetně konstrukčních a technických zásad údržby/opravy).

Nejčastěji se provádí následující typy oprav:

- lokální výměna desek nebo jejich částí – deska je rozdělena aktivními trhlinami na vzájemně nespolutvůbící části, dochází k poklesům na trhlínách; výskyt rozpadu betonu na spárách,
- stabilizace a zvedání desek – poklesy na spárách způsobené zpravidla degradací podkladní vrstvy nebo mezivrstvy,
- obnova spolutvůbení desek – nízký přenos zatížení (vychází se z měření zařízení FWD provedeném na hranách desek a trhlínách – parametr PREN),
- plošné vysprávký – plošný rozpad povrchu desek,
- obnova těsnění spár a trhlín – chybějící nebo nefunkční těsnění (důležité zejména v případě zesílení tenkými asfaltovými vrstvami s nebo bez přiznání spár).

Segmentace desek původního CB krytu

Cílem rozlámání desek na segmenty (zkráceně segmentace) a jejich usazení je:

- podstatně omezit horizontální dilatační pohyby desek způsobené změnami teploty a snížit tak riziko prokreslování spár a trhlín do vrstev zesílení,
- podstatně omezit budoucí vertikální pohyby v oblastech nepodporovaných částí desek (dutiny, kaverny pod deskami) a zabránit tak lámání a poklesům desek.

V případě zesílení tenkými asfaltovými vrstvami bez vyrovnávací mezivrstvy a s přiznáním spár se segmentace neprovádí a je upřednostněn zájem o zachování tuhého podkladu před rizikem prokreslování spár a trhlín.

Čím je tloušťka zesílení větší, tím vyšší záruka je zajištěna proti prokreslování spár a trhlin ze starého CB krytu a tím nižší je potřeba provádět segmentaci desek. Přesto se doporučuje ji provádět, jelikož zajistí prodloužení životnosti vozovky.

Segmentaci není nutné provádět, pokud je jinými opatřeními (např. dostatečně silnou vyrovnávací mezivrstvou) zajištěno zpomalení šíření trhlin.

Základní principy provádění segmentace jsou:

- segmentace se provádí gilotinou a k usazení vzniklých segmentů se používají válce,
- velikost segmentů se volí v závislosti na tloušťce CB krytu, stavu podporování desek a spolupůsobení desek na spárách mezi 0,5 – 2 m (což jsou faktory, které jsou prakticky rozdílné u každé desky),
- v závislosti na rozmístění rázů je potřeba volit jen takovou intenzitu rozbíjecího pulsu, aby se vytvořily převážně mikrotrhlinky (okem viditelné jen na vlhkém povrchu) a nedocházelo k porušení podkladních vrstev a pohybu segmentů,
- vzdálenost místa rázu od volné hrany desky být taková, aby nedocházelo k vytlačování segmentů do stran a vzniku širokých trhlin; tato vzdálenost je obvykle vyšší než 0,5 m,
- v případě nutnosti provedení rázu přes spáru nebo v její těsné blízkosti se musí vhodným opatřením zamezit porušení hran desek, např. položením ocelového plechu přes příslušnou spáru,
- segmentaci se doporučuje provádět před odstraněním krajnic,
- před vlastním usazením segmentů se doporučuje provést tzv. uvolňovací řez v příčném směru (např. po 500 m), který sníží napětí mezi segmenty a umožní jejich usazení,
- usazení segmentů se provádí pomocí silničních válců s hladkým běhounem vybavených vibrací,
- usazení segmentů není nutno provádět, pokud je podrobným průzkumem ověřeno, že pod deskami nejsou dutiny a desky jsou u spár podporovány,
- správné usazení desek je nutno ověřit (pojžděním nákladním autem, pádem ocelové koule těžké 5 kg, nebo jinými vhodnými metodami),

- protože úspěch segmentace závisí na mnoha faktorech, které nelze předem všechny posoudit, je účelné při zahájení prací ověřit navržený způsob segmentace (především velikost segmentů a sílu impulsu) na referenčním úseku.

Na **Obr. 6** je znázorněn průběh segmentace CB desek gilotinou a ukázka vývrtu, ze kterého je zřejmé, jak úzká trhlinka by měla rázem gilotiny vzniknout.



Obr. 6 Segmentace: gilotina, vývrt s viditelnou trhlinou na celou výšku krytu

Rozdrcení CB krytu na místě

Rozdrcení CB krytu na místě je technika používající sadu kladiv nebo speciální ultrazvukovou techniku, která rozdrtí rekonstruovaný CB kryt po celé tloušťce až na drť velikosti do 300 mm. Při povrchu vznikají menší kusy v řádu mm a u dna větší kusy v řádu decimetrů. Takto vzniklá vysoce kvalitní nestmelená vrstva slouží jako podklad pro nový kryt vozovky.

Tato opatření se provádí v případech, kdy starý CB kryt vykazuje velmi malou únosnost, vysoký výskyt konstrukčních poruch a zbytkovou dobu životnosti kryt se provádí v případech, kdy starý CB kryt vykazuje velmi malou únosnost, vysoký výskyt konstrukčních poruch a zbytkovou dobu životnosti kratší než 5 let. Zároveň nesmí nastat problém s potřebou výrazně zvýšit niveletu vozovky. Pokud problém je, provede se rekonstrukce (výměna) CB krytu bez zesílení.

Tato technologie nebyla v ČR zatím použita.

Na **Obr. 7** je uveden příklad zařízení pro rozdrcení CB krytu na místě a detail vzniklé suti, který dokumentuje rozdrcení CB krytu na celou jeho výšku.



Obr. 7 Drcení CB krytu na místě: zařízení se soupravou kladiv, detail vzniklé suti

3.3 Rešerše z literatury

3.3.1 Zkušenosti s překrýváním cementobetonových krytů v ČR

Rekonstrukce cementobetonových vozovek asfaltovými vrstvami [2]

Přestože cementobetonové vozovky svým rozsahem nikdy nepřesahovaly více než 1,5% délky sítě pozemních komunikací, bylo získáno dostatek zkušeností jak s jejich výstavbou, tak s jejich rekonstrukcí. Před koncem 70. let bylo téměř 900 km silniční sítě Čech a Moravy s cementobetonovým krytem, ale koncem roku 1995 jich bylo pouze 120 km, z toho 68 km na silnicích I. třídy, 30 km na II. třídách a 22 na silnicích III. tříd. Na dálnicích naopak z celkové jejich délky 481,1 km bylo 297 vybudováno jako cementobetonových, tj. 61,7 %. Tak, jako se odborníci na výstavbu cementobetonových vozovek zlepšovali v provádění vozovek, tak se také zlepšovali odborníci na jejich rekonstrukci.

Nejpozoruhodnější vlastností cementobetonových vozovek je trvanlivost betonu. Tato trvanlivost se však netýká všech funkčních požadavků kladených na vozovku. Cementobetonový kryt nemůže zajistit trvalou drsnost a také rovnost vozovky a zemního tělesa. Proto z pohledu provozní způsobilosti vozovky je obnažen základní nedostatek cementobetonových krytů – jejich obtížná udržitelnost a opravitelnost. Pokud se zhorší parametry provozní způsobilosti a metodami běžné údržby je nelze zlepšovat, pak je nutno přistoupit k rekonstrukci vozovky.

Rekonstrukce vozovek asfaltovými vrstvami v 70. letech

Základním problémem cementobetonových vozovek vybudovaných v 30.tých a 40.tých letech byly spáry a trhliny poruch na nich. K tomu ještě přistupovala malá šířka vozovky obvykle do 6 m. V 70. letech se s rozvojem technologie asfaltových směsí začaly tyto problémy v ČR řešit:

- rozšířením a zesílením vozovek tloušťkami asfaltových směsí až 250 mm, ale obvykle se tloušťky asfaltových směsí pohybovaly mezi 100 až 200 mm,
- pokusy s provedením kompenzační vrstvy pomocí postřiku asfaltem a technických textilií,
- prováděním kompenzačních vrstev z velmi hrubého kameniva typu obalovaný makadam,
- na pokusném poli novým cementobetonovým krytem (v roce 1973).

Systematické sledování provedených rekonstrukcí v 70. letech

Systematickému sledování cementobetonových vozovek a asfaltových zesílení cementobetonových vozovek se věnoval Ing. Miroslav Tomanec, CSc v pětiletém výzkumu v letech 1970 až 1975 a k problematice se vrátil v letech 1988 až 1990 za spolupráce Výzkumného a vývojového ústavu pozemního stavitelství Ostrava a Silničního vývoje Brno. Byla provedena podrobná vizuální prohlídka úseků vybudovaných v letech 1932 až 1946 a to jak částí do té doby nezesílených, tak zesílených do roku 1974. Na celkem 5 úsecích byly odebrány vývrty a měřena únosnost vozovky rázovým zatížením včetně stanovení spolupůsobení zesílených desek na spárách. Byly shromážděny velmi podrobné výsledky, které byly pečlivě analyzovány, statisticky vyhodnocovány a porovnávány s výsledky a hodnocením z roku 1974.

Při vší snaze s využitím v té době naprosto nových technik měření rovnosti s vyhodnocením klouzavého průměru a zatěžovacích zkoušek s použitím deflektometru, se nepodařilo veškerá měření a analýzy zevšeobecnit.

Úseky cementobetonových vozovek po 30 až 40 letech provozu byly rekonstruované zesílením asfaltovými vrstvami a po dalších 15 letech provozu vykazaly:

- Rozsah porušení asfaltového zesílení, který odpovídal rozsahu a významu porušení cementobetonové vozovky před zesílením.
- Spáry v cementobetonovém krytu se prokopírovaly jako trhliny v asfaltových krytech v 13 % až 43 % výskytu.
- Trhliny v cementobetonových krytech se prokopírovaly výjimečně, prokopírovalo se nejvýše 10 % trhlín.
- Prokopírované trhliny se objevovaly při tloušťkách asfaltových vrstev menších než 100 mm.
- Osvědčilo se zatěžovací schéma a měření průhybu v uspořádání stejném jako pro netuhé vozovky, tj. měří se průhybová čára s tím, že spára nebo trhlina je mezi snímači ve vzdálenosti 210 a 330 mm od středu zatěžovací desky.
- Měřením spolupůsobení desek za různých teplot a teplotních spádů na spárách a trhlínách použitím 4 snímačů průhybů na hranách spár a trhlín s uspořádáním vždy dva snímače proti sobě byl zjištěn minimální koeficient spolupůsobení 0,79, přičemž průměrné hodnoty se pohybovaly mezi 0,89 až 0,98.

Jako velmi zajímavý poznatek byly značné rozdíly průhybů, které byly závislé nejen na teplotě nebo teplotním spádu v deskách, ale i jiných prakticky nezjistitelných jevech. Provozovatel rázového zařízení pak využíval všech obvykle náhodných měření na cementobetonových vozovkách a tyto poznatky o náhodném chování desek při stanovování průhybové čáry pod zatížením se vždy potvrzovaly. Jestliže se pak v roce 1993 jednalo o systematickém měření únosnosti cementobetonových vozovek rázovým zařízením staršího typu bez moderní a přesné elektroniky, bylo zasaženo do tohoto výzkumného projektu s tím, že stávajícími metodami měření a výpočtu nelze dojít k vysvětlení některých měřených jevů, které jsou jasně náhodného charakteru.

Rekonstrukce vozovek asfaltovými vrstvami v 90. letech

V 90. letech se k rekonstrukcím CB vozovek přistoupilo s větším rozmachem, ve kterém se projevil možnost tržních mechanismů.

Kromě osvědčených způsobů rekonstrukce se vyskytl způsob opravy vozovek frézováním betonu a náhradou tloušťky 30 až 50 mm asfaltovým betonem

s modifikovaným asfaltem. Řešení z hlediska zlepšení provozní způsobilosti bylo přínosem, ovšem nepřiznání spár v asfaltovém zesílení vedlo k drobné síti trhlin nad spárami a trhlinami, které vedly k poruchám s nutnou následnou běžnou údržbou a lokálními opravami asfaltového krytu.

Poprvé v roce 1994 byla v ČR použita technologie odstranění vlivu spár. Stalo se tak na silnici I/47 mezi Lipníkem nad Bečvou a Hranicemi na Moravě. Cementobetonové desky po pokusech i s jinými zařízeními byly rozbity na segmenty pomocí breakeru, jako padající ocelové desky působící přímkovým rázovým zatížením

Na silnici I/47 bylo k rekonstrukci použito pouze 110 mm až 150 mm asfaltových vrstev s postupným prováděním. Na segmentované desky byl aplikován spojovací postřík modifikovanou asfaltovou emulzí a byla položena vrstva asfaltového koberce tenkého, kterou se vyrovnal příčný sklon a nerovnosti zejména v rozdílných výškách desek na spárách, rozdíly výšek dosahovaly v extrémech až 50 mm. Jelikož se předpokládalo, že segmentované desky nebudou po rozbití usazeny na podklad z cementové stabilizace, vystavila se vozovka účinkům silničního provozu. Po vrstvě asfaltového koberce v každém jízdním pruhu došlo k 15 000 přejezdů těžkých nákladních vozidel. Nedošlo k žádným poruchám, i když v některých místech bylo jen 10 mm směsi. Nedokonalé uložení segmentů na podklad mohlo být již odstraněno pokládkou a zhutněním první asfaltové vrstvy. Následně byly použity tloušťky dalších asfaltových vrstev – asfaltový beton hrubozrnný v tloušťce 60 mm a asfaltový koberec mastixový v tloušťce 40 mm.

Na této stavební akci byly získány pozitivní zkušenosti, na kterých se podílely SÚS Přerov, Silnice Ostrava a.s., na vyhodnocování se podílelo VUT FAST a Silniční vývoj Brno a v počáteční fázi byly také aktivní Stavby silnic a mostů, s.r.o. Valašské Meziříčí a Novophalt Brno, s.r.o. V závěrečném hodnocení měření únosnosti rázovým zařízením bylo konstatováno, že původně tuhá vozovka se po segmentaci desek chová jako vozovka netuhá. Měření byla také vyhodnocena statisticky a výsledky rozboru průhybových čar (zpětný výpočet modulů pružnosti vrstev vozovky) byly použity při stanovení pravděpodobnosti porušení vozovky. Je stanoven předpoklad, že 5 % délky jízdního pruhu může být porušeno trhlinami v roce 2007, tedy v době, kdy se podle tehdejších plánů výstavby dálnic předpokládalo převedení dopravního zatížení na nově vybudovanou D47. Vyhodnocení měření bylo pak zhodnoceno v TP 77 Navrhování vozovek pozemních komunikací.

Další akce zesílením CB vozovek se odehrály na dálnici D1. První v roce 1995 v km 93,9 až 92,8, celá tato akce proběhla v režii jiného týmu pracovníků a zkušenosti z prvního nasazení breakeru nebyly zhodnoceny. Druhá akce ve stejném staničení, ale na jízdním pruhu do Brna již byla po segmentování desek breakerem sledována pracovním týmem podílejícím se na zpracování TP 91. Proběhla měření únosnosti a byly stanoveny tloušťky CB desek. Celkově byla značná nespokojenost se způsobem rozbití desek, s vytvořením širokých trhlin mezi segmenty, posunem segmentů a desek jak v podélném směru, tak v příčném směru, s vylámaním povrchu betonu silnými údery a vzniku nerovností. Nerovnosti ovšem mohly mít i příčinu v celkovém snížení povrchu vozovky, čímž se mohly odstranit nedostatky hutnění při provádění původní vozovky v roce 1980.

Po těchto zkušenostech se rekonstrukce na dálnici D1 v km 15,5 až 21 a km 11,3 až 15,5 odehrála za spolupráce zpracovatelů TP 91. Tato spolupráce se týkala podrobné diagnostiky CB krytu, ověření podepření desek, měření únosnosti rázovými zkouškami a zejména sledování a upřesnění způsobu segmentace desek breakerem a novým měřením únosnosti na segmentovaných deskách.

Některé zajímavé poznatky z měření a výpočtu CB desek

Ing. Chupík, CSc. na rekonstrukci D1 v masovém měřítku použil sonickou metodu k určení uložení desek na podkladu, v daném případě na cementové stabilizaci. Užíval vrhačskou kouli a podle zvuku desky po pádu koule na CB desku určoval podepření nebo volné kmitání nepodepřené desky. Zjistil, že desky ve vzdálenosti 400 až 1000 mm od spáry nejsou podepřeny. Pochopitelně toto má celou řadu důvodů:

- teplotní spád v desce a její deformace,
- eroze spáry mezi podkladem a deskou; pod deskou, která není v kontaktu s podkladem např. díky teplotnímu spádu apod., vyplní srážková voda volný prostor a při průhybu desky zatížením je voda pod tlakem vytlačena a eroduje tak slabší z obou materiálů, v případě cementové stabilizace podklad, v případě asfaltové mezivrstvy to může být rovnou cementový beton,
- účinek vody a rozmrazovacích solí,
- dalšími náhodnými důvody.

Toto nepodepření desek má samozřejmě značný vliv na průhyby pod zatížením a namáhání desek. Různorodost podepření a nepodepření má pak vliv na měřené průhyby a průhybové čáry.

Již v roce 1992 se pracovníci Ústavu stavební mechaniky pokusili tyto sestavy modelovat metodou konečných prvků použitím amerického programu ANSYS. Pod deskou zavedli tzv. jednostrannou vazbu, která modelovala volné zdvižení při zatížení, jak zatížením od dopravy, tak zatížením teplotou. Samozřejmě bylo zjištěno, že toto malé přiblížení modelu skutečnosti mělo značný vliv na namáhání desky, změnily se velikost a rozložení momentů v deskách. Tyto změny byly významnější než použití různých modelů podkladů jako jsou Winklerův a Pasternakův podklad nebo pružný poloprostor.

Od této doby se podle zájmu studentů a doktorandů jmenovaného ústavu nebo pod přímým vedením kolektivu zpracovatelů TP 91 modelují různé detaily cementobetonových desek, spolupůsobení desek i celého pole desek. Tyto výpočty jsou směřovány do spolehlivostní analýzy, do opuštění deterministických postupů řešení problémů, které jak prohlašuje kolektiv ústavu, jsou po obecné teoretické stránce nepoužitelné a navíc nejsou schopny vytěžit z experimentálních výsledků veškeré v nich obsažené informace.

Navrhování pravděpodobnostního přístupu k porušování vozovek není pro pracovníky v oboru CB vozovek žádnou novinkou. Vždy kvalita vozovky hodnotila soupisem nebo častěji grafickým záznamem všech vyskytujících se poruch. Znázornila se tak každá trhлина, ulomený roh, porušená spára nebo povrch CB desky a v závěru se hodnotil výskyt těchto trhlín. Jestliže připustíme, že pravděpodobnost porušení po jisté době užívání vyjadřuje pravděpodobnost výskytu poruch, pak základy pro ověření spolehlivostní analýzy máme položeny a je možno tuto vysokou teorii ověřovat a uvádět v život. Vyžaduje to těsnou spolupráci obou skupin pracovníků, praktiků a teoretiků.

Použití asfaltové membrány

Při rekonstrukci dálnice D1 v km 10,3 až 20,7 byla použita asfaltová membrána z modifikovaného asfaltu překrytá speciálním emulzním kalovým zákrytem Gripfibre.

V TP 91 je tato vrstva nazvána kompenzační vrstvou. V zahraniční literatuře se tato vrstva nazývá SAMI jako mezivrstva absorbující napětí. Tento prvek je široce diskutován. Je kritizována jeho funkčnost, přínos pro porušování vozovek, použití, podrťování, problémy s kladením dalších konstrukčních vrstev, charakteristiky vrstev pro výpočet

namáhání vrstev vozovky apod. Stejně tak jsou příznivé a problematicky hodnoceny jiné druhy kompenzačních vrstev uvedené v TP 91. Je nutno dodat, že s výjimkou kompenzačních vrstev z asfaltové membrány překryté technickou textilií nebyly v ČR žádné jiné zkušenosti. Pro jednoznačné posouzení technologie kompenzačních vrstev bylo Ministerstvem dopravy a spojů vypsáno nabídkové řízení na výzkumný projekt k posouzení a ověření přínosu membrán a výztužných prvků.

Návrh konstrukce vozovky při rozšíření dálnice D1 Všechny – Mirošovice [3]

V rámci rozšíření dálnice D1 byla řešena i rekonstrukce stávajícího betonového krytu vozovky. Stav krytu byl zjišťován různými měřeními (např. výškové rozdíly na spárách) a diagnostickými přístroji, které jsou v ČR k dispozici. Dále bylo provedeno měření pumpování desek upraveným deflektografem Lacroix (francouzská firma VECTRA).

Projekt předpokládal v některých úsecích segmentaci (rozlámání) desek těžkým breakerem a pro zpomalení šíření trhlin do asfaltového krytu použití membrány typu SAMI s výztužnou vložkou. Ta měla být položena na vyrovnávací vrstvu z obalovaného kameniva zajišťující zvětšení příčného sklonu vozovky, které požadoval zadavatel.

Do obrusné vrstvy tloušťky 40 mm byl navržen AKM I z modifikovaného asfaltu třídy 65 a do ložní vrstvy tloušťky 60 mm ABH I modifikovaného asfaltu třídy 45.

Po vyhodnocení zahraničních zkušeností a po konzultacích se specialisty většinového akcionáře SSŽ a.s. firmy Entreprise Jean Lefebvre (EJL) navrhly SSŽ některé úpravy projektu. Zadavatelem byly návrhy přijaty a poté i realizovány.

V době předložení variantního návrhu neexistovaly dosud v ČR závazné směrnice, jak při rekonstrukci CB vozovek postupovat. Práce na příslušném TP byly teprve v počáteční fázi. Vycházelo se proto ze zkušenosti firmy EJL. Ta například provádí navržený systém zpomalující šíření trhlin (Flexiplast®) již od roku 1990.

Vložením asfaltové membrány dochází v konstrukci vozovky k významné změně v rozdělení napětí a deformací jednotlivých vrstev od zatížení dopravou. Výpočet napětí a deformací i posouzení návrhu vozovky bylo před předložením soutěžního řešení provedeno francouzskou návrhovou metodou a programem ALIZE. Srovnávací výpočty se realizovaly na ČVUT programem Laymed.

Inovovaná verze programu Laymed (dokončená na jaře 1996) umožňuje zohlednit nedokonalé spojení mezi vrstvami. To lze předpokládat například mezi membránou a podkladem nebo mezi betonovou deskou a cementovou stabilizací po provedení segmentace. SSŽ tento program zakoupily a provedly doplňující výpočty uvažující s různou mírou spolupůsobení mezi jednotlivými vrstvami.

Variantní návrh krytu

SSŽ navrhly úpravu spočívající ve využití principu oddělení nosné funkce vozovky od vlastností povrchu. Tento postup se již několik let používá ve Francii. Ložní vrstva se provede z živичné směsi s velkou tuhostí, která má mimořádně vysokou odolnost proti vyjíždění kolejí a proti únavě. Obrusná vrstva je velmi tenká. Použije se do ní směs s přetržitou zrnitostí zajišťující dobrou drsnost povrchu. Výhodou tohoto postupu je například i to, že při pozdějších opravách vozovky se odfrézovává tenčí vrstva.

Nový kryt pro D1 byl navržen tak, že do ložní vrstvy byla použita obalovaná směs, kterou lze obecně označit jako ABS-ZT, tj. asfaltový beton střednozrný se zvýšenou tuhostí. Tloušťka ložní vrstvy byla 55 mm. Do obrusné vrstvy tloušťky 25 mm byla navržena směs s obchodním názvem ULM®. Tím došlo ke snížení tloušťky vozovky o 10 mm.

V rámci přípravy stavby D1 byly do ložní vrstvy odzkoušeny v přístroji NAT na ČVUT Praha reologické vlastnosti směsi z asfaltu 20/30 M (modifikovaného přísadou EVA ve vlastní modifikační stanici SSŽ) a směsi se stejnou zrnitostí, avšak s modifikovaným asfaltem Olexobit 45 od firmy BP.

Obě směsi vykazaly vynikající odolnost proti vyjíždění kolejí, přičemž směs s pojivem 20/30 M vykazala trvalou deformaci mírně menší, vlivem vyšší tvrdosti základního asfaltu. Bylo však zapotřebí prověřit její chování za nízkých teplot. K tomu se provedly ve výzkumném středisku EJT zkoušky pojiva v přístroji BBR (Bending Beam Rheometer) zavedeném v rámci amerického programu SHRP. Podle výsledků zkoušek byl z asfaltů od dvou výrobců vybrán ten, který vykázal po modifikaci lepší chování za nízkých teplot.

Podle SHRP je možné předpokládat, že pojivo lze použít do teplot o 10°C nižších než se stanoví vyhodnocením zkoušky BBR. To se zdůvodňuje tím, že deformace vzorku po dvou hodinách odpovídá deformaci po 60 vteřinách při teplotě o 10°C vyšší, takže je možné výrazné zkrácení doby zkoušky. Obecná platnost takového kritéria se jeví sporná, i když je

známo, že za nízkých teplot nejsou v chování modifikovaných a nemodifikovaných asfaltů velké rozdíly.

Za logičtější lze považovat postup podle Aranda, kterým se měří přímo chování směsi při ochlazování vzorku. Navíc se pro každou teplotu zjistí tzv. rezerva do porušení (rozdílnost mezi tahovou pevností a napětími vzniklými ve vzorku vlivem ochlazování). Tento přístroj se zatím používá pouze v Německu a nebyl k dispozici ani v ČR ani u firmy E.J.L.

Dalším problémem při návrhu bylo, jaké únavové charakteristiky použít pro zvolenou směs se zvýšenou tuhostí. Firma E.J.L. užívá pro směs s obchodním názvem BPHM vyrobenou z asfaltu 20/30 M pro sklon únavové přímky hodnotu $b = -0,138$ (to odpovídá koeficientu $B = 7,25$ dle TP 77). Obdobná hodnota byla zjištěna na ČVUT zkouškou v NAT. Tuto shodu je však třeba považovat spíše za náhodnou, neboť podmínky při zkoušce v NAT jsou velmi odlišné. Navíc ve vlastní návrhové metodě se ve Francii dílčí součinitele spolehlivosti únavové zkoušky zavádí do výpočtu jiným způsobem.

Postupovalo se proto tak, že při výpočtu podle francouzské návrhové metody jsme hodnotu užívanou E.J.L. použili. Při výpočtu metodou dle TP 77 se zvolila hodnota ležící mezi tabulkovou hodnotou dle TP a naměřenou při zkoušce v NAT.

Značný vliv na výsledek výpočtů má i to, jakou hodnotu modulu pružnosti betonové desky po segmentaci použijeme. Proto se před podáním variantního návrhu konstrukce vozovky provedli srovnávací výpočty pro několik hodnot tohoto modulu. Výsledky naznačovaly, že při příliš nízkém modulu desek po segmentaci by již mohlo být přetvoření krytu příliš velké.

Proto byla snaha provádět segmentaci minimální možnou energií. Provedly se dynamické rázové zkoušky před segmentací a po ní. I když tyto zkoušky vykazovaly velký rozptyl, bylo možné předpokládat, že průměrný modul po segmentaci je vyšší, než s jakým se uvažovalo ve výpočtech.

Dynamické rázové zkoušky potvrdily, že při segmentaci dojde nevyhnutelně k určité laterální nehomogenitě vlastností této vrstvy. Dnes již sice existují numerické výpočetní metody umožňující nehomogenitě vlastností konstrukce postihnout (např. MKP). V daném případě by to však bylo dosti samoučelné, neboť skutečnou heterogenitu je prakticky nemožné stanovit.

Proto byla konstrukce navržena tak, aby míra porušení jednotlivých vrstev vypočtená normálním postupem dle TP 77 byla malá. Tím se nepřímo vzalo do úvahy to, že nehomogenitě segmentované desky poměry v konstrukci zhorší.

Je třeba zdůraznit, že celý výpočet má pro návrh krytu pouze informativní povahu. Jeho účelem je především vyšetřit změny napětí a deformací konstrukce vložním membrány zpomalující šíření trhlin. Vlastní proces šíření trhliny je možné modelovat MKP. Ilustrují to některé příspěvky na konferenci v Maastrichtu. Tyto práce mají však doposud jen výzkumný charakter. Při praktickém návrhu je proto zatím nutné vycházet ze zkušeností ze staveb a informací publikovaných v literatuře.

Vliv membrány zpomalující šíření trhlin na napjatost a deformace vozovky

Při smršťování betonového podkladu za nízkých teplot dochází v dolních vláknech membrány k protažení. Vlivem velké poddajnosti se membrána protáhne nerovnoměrně, přičemž horní vlákna se přetvoří jen minimálně. Tím se do krytu nepřenáší tahová napětí, která by vedla k jeho porušení. Membrána tak působí jako prvek výrazně pohlcující napětí (Stress Absorbing Membrane Interlayer neboli zkráceně SAMI vrstva).

Účinnost různých opatření zpomalující šíření trhlin se ve Francii zkouší ve speciálním přístroji v laboratoři v Autun. Porovnáním s výsledky dosaženými při zkouškách systémů membrán s geotextiliemi je vidět vyšší účinnost Flexiplastu. To potvrzují i sledování na hotových stavbách.

Při návrhu rekonstrukce vozovky je však třeba ověřit vliv membrány na rozdělení napětí a deformací v krytu od zatížení dopravou. Bez membrány by napětí v krytu byla prakticky jen tlaková. Vložení tenké velmi poddajné vrstvy vyvolá protažení vrstvy nad membránou. To je velké zejména v letním období, kdy je modul pružnosti nízký. Na povrchu betonových desek pod membránou působí velká napětí v tlaku. Konstrukce se tedy chová jako by došlo k oddělení krytu od podkladu, i když se při výpočtu předpokládá dokonalý kontakt na styku vrstev.

Pokud se zavede předpoklad, že kontakt není dokonalý, jak to umožňuje nová verze programu Laymed, protažení vrstvy nad membránou podstatně vzroste. Tím ovšem velmi výrazně roste i relativní poškození vrstvy vypočtené dle TP 77.

Asfaltová membrána v systému Flexiplast je silně modifikovaná přísadou SBS. Lze tedy počítat s tím, že její modul pružnosti v letním období nebude nadměrně nízký, neboť bod měknutí při zkoušce kulička kroužek je cca 100°C.

Vzhledem k mnoha nejistotám o velikosti vstupních parametrů byly výpočty pro D1 provedeny pro řadu variant. Pro modul pružnosti membrány o něco menší než používá firma EJL a pro poměrně příznivý modul betonových desek po segmentaci (podmíněný segmentací minimální energií) vyšlo přetvoření v krytu takové, že relativní porušení vrstev zůstalo poměrně malé.

K tomuto příznivému výsledku přispělo i to, že uvažovaný únavový koeficient B byl o něco větší než dle tabulky v TP 77. I malá změna koeficientu má velký vliv na vypočtené relativní poškození vrstev.

Návrh rekonstrukce vozovky na D1 byl nestandardní záležitost, se kterou u nás byly jen malé zkušenosti. Proto SSŽ úzce spolupracovaly se specialisty EJL. Některé otázky byly konzultovány i na ČVUT. Výpočty byly provedeny pro řadu předpokladů vzhledem k nejistotám o skutečné velikosti parametrů vstupujících do výpočtů.

Materiály kongresu v Maastrichtu ukazují, že v problematice šíření trhlin ve vozovkách zbývá ještě mnoho nejasností. Teprve dlouhodobé sledování řady staveb umožní spolehlivější posouzení účinnosti různých technologií. Tak, jako u všech speciálních prací je velmi důležitá kontrola a dodržování technologické kázně při realizaci.

Provádění hutněných asfaltových vrstev při rozšíření dálnice D1 Všechnomy – Mirošovice [4]

Hutněné asfaltové vrstvy na stavbě „Rozšíření dálnice D1, 1. etapa Všechnomy – Mirošovice“, prováděl odštěpný závod 3 a.s. SSŽS v roce 1996. Úsek, dlouhý 5,3 km, byl rozšířen o 27 000 m² na celkovou výměru asi 150 000 m², a bylo na něm položeno cca 70 000 t hutněných asfaltových vrstev. Kryt vozovky byl proveden moderními technologiemi podle variantního návrhu, který vypracovala a.s. SSŽ ve spolupráci s většinovým akcionářem SSŽ a.s. – francouzskou firmou Entreprise Jean Lefebvre (EJL), (viz. sborník AV 97 – Ing. J. Fiedler, Ing. I. Racek: Návrh konstrukce vozovky při rozšíření dálnice D1 Všechnomy – Mirošovice).

Asfaltové směsi pro tuto stavbu se vyráběly na nejnovějším typu plně mobilní šaržové obalovny Beeninghoven MBA 160 – první svého druhu v České republice. Vzhledem k její vysoké ceně bylo možné tuto předem vybranou obalovnu zakoupit až po získání zakázky. Obalovna byla umístěna na pozemku asi jeden kilometr od stavby. Před jejím dodáním byla vrstvou šterkodrti upravena celá plocha dočasného zařízení staveniště. Vlastní obalovna pak byla osazena pouze na panely. Přes velmi krátký termín pro montáž a odzkoušení obalovny se podařilo zahájit výrobu asfaltových směsí pro stavbu v plánovaném termínu.

Stavební materiály

Jako pojivo byly pro běžné asfaltové směsi použity asfalty AP-65 Paramo Pardubice a CHP Litvínov. Pro rekonstrukci krytu byly zvoleny vlastní modifikované asfalty Evatech 20/30 M a Mobilplast G3 – vyráběné, stejně jako modifikovaný asfalt pro membránu a emulze pro spojovací postřiky, v modifikační a emulgační stanici v Kolíně se spoluprací s EJJ. Kromě toho byl použit i modifikovaný asfalt BP Olexobit 45.

Značným problémem však bylo v krátkém čase po získání zakázky zajistit potřebné množství kameniva – celkem 65 000 t – v požadované kvalitě. Po zjištění možností dodavatelů kameniva a jednáních s Ředitelstvím dálnic byly zvýšené požadavky zvláštních technických kvalitativních podmínek na tvarový index kameniva pro asfaltové směsi ložních a vyrovnávacích vrstev upraveny na hodnoty požadované ČSN 73 6121, neboť jednotlivé frakce vesměs mírně překračovaly požadovaných 25 %, a to u téměř všech potenciálních dodavatelů kameniva. Podle schválené projektové dokumentace se asfaltové hutněné vrstvy na této stavbě prováděly ze šesti druhů směsí. Přesto bylo nutno v předstihu vypracovat průkazní zkoušky pro osmnáct asfaltových směsí – variantních řešení pro případ selhání některých dodavatelů kameniva. Nakonec bylo pro tuto stavbu použito deset asfaltových směsí a devatenáct druhů kameniva (započítány i stejné frakce kameniva z různých lokalit).

Asfaltové konstrukční vrstvy v rozšíření – do úrovně stávající CB vozovky

Po dokončení podkladní vrstvy z MZK byly v rozšíření pravé i levé vozovky položeny dvě vrstvy ze směsi OKVH s pojivem AP-65 a jedna vrstva ABVH I s modifikovaným pojivem Olexobit 45, všechny v tloušťce 80 mm. Všechny hutněné asfaltové vrstvy byly

opatřeny spojovacím postřikem. Tak bylo rozšíření upraveno do nivelety stávající cementobetonové vozovky.

Tyto vrstvy byly provedeny běžnými technologickými postupy. Vzhledem k proměnné šířce rozšíření musely být v úsecích užších než 2,5 m asfaltové směsi pokládány chodníkovým finišerem.

Určité obtíže působil při naplnění násypky finišeru výškový rozdíl mezi stávající CB vozovkou a podkladem, zejména při pokládce první vrstvy OKVH. Vozy se při couvání k finišeru pohybovaly jednou polovinou po stávajícím CB krytu, druhou po vrstvě MZK o 24 cm níže, nemluvě o dvouprocentním příčném sklonu vozovky. Výškový rozdíl musel být před sklopením vozů vyrovnán podkládáním dřevěných nájezdových klínů před finišer, vozy byly z těchto důvodů plněny na přibližně 60 % své nosnosti. Všechna tato nutná opatření značně zvyšovala pracnost a snižovala výkon pokládky.

Asfaltové konstrukční vrstvy v celé šířce vozovky – nad úrovní stávajícího cementobetonového krytu

Poté, co byly dokončeny asfaltové vrstvy do úrovně stávajícího CB krytu v rozšíření pravé vozovky, byl na ni převeden provoz obou směrů a levá vozovka dálnice byla zcela uzavřena.

Na levé vozovce byla podle schválené prováděcí dokumentace stavby provedena ve stanovených úsecích segmentace CB desek. Vzhledem k nutnosti zvýšení příčných sklonů a vyrovnání podélného profilu se na takto připravený podklad, opatřený spojovacím postřikem, pokládaly v celém úseku vyrovnávací vrstvy. Protože tloušťka vyrovnávek se pohybovala v rozmezí 20 – 120 mm, byly pro ně použity tři druhy směsí (AKT, OKS I, OKVH), jejichž šířka se v jednotlivých úsecích měnila podle požadovaných tloušťek.

Na vyrovnávky zhotovil odštěpný závod 7 a.s. SSŽ vrstvu Flexiplast®, tj. 3 mm silně modifikovaného asfaltu Elastoplast a 7 mm za studena pokládaného mikrokoberce Gripfibre (viz. sborník AV 97 – Ing. Z. Komínek: Systém Flexiplast®), zpomalující šíření trhlin z původní CB vozovky.

Po dokončení Flexiplastu se pokládala v celé šíři vozovky ložní vrstva asfaltového betonu se zvýšenou tuhostí ABS I – ZT s modifikovaným pojivem Evatech 20/30 M v tloušťce 55 mm. Při hutnění této vrstvy vznikaly zpočátku problémy kvůli viskozitě pojiva z tvrdého modifikovaného asfaltu. Při výrobě směsi bylo zapotřebí udržovat

poměrně vysoké teploty, aby zrna kameniva byla dokonale obalená. Krátká dovozní vzdálenost a relativně velká tloušťka pokládané vrstvy způsobily, že rozprostřená směs se značnou tepelnou setrvačností postupně prohřívala přes vrstvu Grifibre částečně i membránu. Přestože modifikovaný asfalt Elastoplast má bod měknutí vyšší než jiná pojiva používaná pro membrány, bylo zapotřebí upravit na základě prvních zkušeností zvláštní postup pro hutnění ložní vrstvy tak, aby bylo dosaženo požadované míry zhutnění.

Jako obrusná vrstva byl na nosnou ložní vrstvu opatřenou spojovacím postřikem položen tenký asfaltový koberec AKT typu ULM v tloušťce 25 mm – technologie převzatá od firmy EJJ. Tento tenký asfaltový koberec s přetržitou křivkou zrnitosti se vyznačuje velmi dobrou, rovnoměrnou makrotexturou, protismykovými vlastnostmi a sníženou hlučností po celou dobu své životnosti.

Na dokončenou levou vozovku byl převeden provoz obou směrů dálnice a stavební práce pokračovaly zhotovením krytu na pravé vozovce. Zde byl Flexiplast® zhotoven přímo na stávající CB kryt. Poté byly v celé šíři provedeny vyrovnávky pro upravení podélného i příčných profilů. Tak byla membrána tepelně více chráněna a hutnění mohlo probíhat standardním způsobem. Jako směs pro ložní vrstvy byl z různých důvodů použit ABS I – ZT stejného složení směsi kameniva jako na levé vozovce, ale s modifikovaným asfaltem Olexobit 45.

Jako velmi důležitá se u této stavby ukázala rozsáhlá předvýrobní příprava, kdy byly včas připraveny různé varianty asfaltových směsí. Například u asfaltového betonu se zvýšenou tuhostí pro ložní vrstvu byly ještě před zahájením prací zkoušeny reologické vlastnosti (na ČVUT Praha v přístroji NAT) a odolnost proti vyjíždění kolejí, a to jak s pojivem Evatech 20/30 M, tak s Olexobit 45. Obě směsi prokázaly vynikající vlastnosti. Výsledky zkoušek byly srovnatelné, což umožnilo zaměnit pojiva v průběhu provádění stavby.

Asfaltový kryt, složený z velmi tuhé, proti únavě a vyjíždění kolejí vysoce odolné ložní vrstvy s nízkou teplotní citlivostí a tenké obrusné vrstvy, která zajišťuje velmi dobré vlastnosti z hlediska jízdního komfortu i bezpečnosti, je moderním řešením jak pro rekonstrukce, tak výstavbu nových vozovek. Přes určité obtíže při zavádění těchto nových technologií se podařilo všechny hutněné asfaltové vrstvy dokončit ve velmi dobré kvalitě, a to za pouhé tři a půl měsíce.

Systém Flexiplast®

Systém zpomalující prokopírování trhlin z podkladu do krytu vozovky [5]

Ochrana vozovek proti šíření trhlin z podkladních vrstev spočívá v tom, že mezi popraskaný podklad a nový kryt se vloží vrstva, která bude šíření trhlin do nově položené konstrukce bránit.

Buď je možno použít vrstvu se zvýšenou pevností v tahu jako jsou výztužné mříže, nebo zcela odlišný postup, to znamená použití vrstvy s velkou průtažností, která je nazývaná jako SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer). Tato vrstva se při otevírání trhliny v dolní vrstvě nerovnoměrně protáhne a tím přenesení do horní vrstvy jen malé tahové napětí. Čím je membrána silnější, tím nižší napětí se přenesení do vrchní vrstvy. Její tloušťka však musí být omezena na několik málo mm, aby nedocházelo k vyjíždění kolejí.

Technologie Flexiplast®, kterou vyvinula francouzská firma E JL, majoritní vlastník SSŽ, se skládá z tenké membrány ze silně modifikovaného asfaltu, zvaného Elastoplast a mikrokoberce pokládaného za studena zvaného Gripfibre, který spolupůsobí s membránou a zároveň ji ochraňuje před účinky pokládky dalších vrstev vozovky.

Systém Flexiplast je firmou E JL používán od roku 1990, kdy bylo položeno cca 90 000 m². V roce 1994 se ho ve Francii položilo 300 000 m². V roce 1994 získala firma E JL pro Flexiplast osvědčení francouzské státní správy (tzv. Avis Technique). SSŽ položily Flexiplast v roce 1996 na stavbě rozšíření dálnice D1 Všechnomy – Mirošovice v ploše cca 100 000 m² a v roce 1997 na úseku Všechnomy – Jesenice bylo položeno dalších cca 80 000 m².

Charakteristika a použití

Membrána Elastoplast je asfalt silně modifikovaný elastomery, který má elastické vlastnosti i při nízkých teplotách, při kterých se trhliny nejvíce rozevírají. Membrána se klade v tloušťkách 1,5 – 3 mm podle stavu podkladu, druhu trhlin, povahy materiálu, který vedl ke vzniku trhlin a klimatických podmínek.

SSŽ pokládaly membránu speciálním distributorem Rincheval při teplotě 180 – 190°C. Distributor Rincheval má izolovanou cisternu s nepřímým systémem ohřevu, mícháním a s ohřívanou rampou. Je schopen v širokém rozsahu viskozit. Pracuje automaticky, v kabině je mikroprocesor pro seřizování a kontrolu dávkování. Místo běžně používaného drceného kameniva se membrána chrání mikrokobercem Gripfibre, který se klade v tloušťce 5 až 7

mm. Pokládá se speciálním pokladačem Breining, který má skrápěna všechna kola vodou, takže se nepřilepuje k položené membráně. Komunikace může být otevřena pro dopravu po položení Gripfibre již po cca 30 minutách. Při pokládce další vrstvy tvoří Gripfibre tepelnou clonu, takže k ohřevu membrány dochází pouze v omezené míře. Měření provedená firmou EJJ prokázala, že zvýšení teploty membrány při pokládce obalované směsi zůstalo v přiměřených mezích. Svou roli hraje i fakt, že bod měknutí Elastoplastu je vyšší než u obdobných pojiv pro membrány uvedených v prospektech rafinerií.

Sám Gripfibre přispívá ke zvýšení odolnosti proti propagaci trhlin, neboť obsahuje rozptýlená vlákna. Další výhodou Flexiplastu je to, že poměrně silná membrána nepraskne, i když trhlina pronikne až na povrch. Proto je zachována nepropustnost konstrukce a srážková voda nemůže zatékat do podloží. Nepropustnost byla prokázána na vzorcích, které měly rozevření trhliny 9 mm, po zkoušce smršťování – ohyb v laboratoři v Autun, se sloupcem vody 30 cm. Po jednom měsíci se ukázalo, že membrána komplexu Flexiplast tvoří stále nepropustnou vrstvu.

Některé systémy užívají z asfaltu silně modifikované elastomery, tloušťky 1 – 1,5 mm. Tato tloušťka, která je sama o sobě na hranici účinnosti, je dále silně zmenšena po ukončení prací. Část drtě při posypu membránu propíchne. Při pokládce vrchní vrstvy pak dojde oteplením k pronikání membrány směrem do této vrstvy. Zmenšení tloušťky membrány vede ke snížení její účinnosti, protože propagace trhlin vzhůru bude omezena tím více, čím bude membrána silnější.

Odrhovými zkouškami byla prokázána dobrá přilnavost membrány k podkladu. Při teplotě 10°C dokonce nedošlo při maximálním možném tahovém napětí 2 MPa k odtržení. Při teplotě 20°C byl dosažen maximální možný posun 6 mm při napětí 0,16 MPa.

Zkouška odolnosti proti vyjíždění kolejí ukázaly, že tloušťka membrány by neměla přestoupit 3 mm. Tloušťka krycí vrstvy závisí na intenzitě dopravy a geometrických parametrech silnice. Minimální tloušťky krytu pro francouzské poměry jsou uvedeny v Avis technique systému Flexiplast (**Tab. 9**):

Tab. 9 Minimální tloušťky krytu

dopravní zatížení	údržba	nová vozovka
max T2	AKT-ULM nebo Gripfibre	3 - 4 cm AB
T1	3 - 4 cm AB	4 - 6 cm AB
min T0	4 - 6 cm AB	6 - 8 cm AB

Při údržbě se doporučuje v oblastech zvláště namáhaných (ve městech nebo v trase se zatáčkami) obrusná vrstva 4 – 6 cm, ať je dopravní zatížení jakékoliv. V našich poměrech je třeba přihlídnout k tomu, že v zimě jsou nižší teploty než ve Francii.

Vlastnosti membrány Elastoplast jsou uvedeny v **Tab. 10**:

Tab. 10 Vlastnosti membrány Elastoplast

bod měknutí KK	[°C]	min 90
penetrace při 25°C	[0,1 mm]	70 – 110
vratná duktilita při 25°C po 30 min	[%]	min 95
vratná duktilita při 7°C po 30 min	[%]	min 70
bod lámavosti Fraass	[°C]	max -25
struktura ve fluorescenčním mikroskopu		jemná, rovnoměrná, základem polymer

Firma EJL provádí pro ověření vlastností membrány kromě těchto zkoušek i zkoušky tahu ve speciálním přístroji (dle SHRP). Zkouška se provádí na vyrobených tělíscích délky 50 mm, šířky 4 mm a tloušťky 3 mm, při -10°C a rychlosti zatěžování 100 mm/min. Vzorek se považuje za vyhovující, jestliže má protažení minimálně 400 % bez porušení, pevnost v tahu minimálně 2,7 MPa.

Porovnání s ostatními systémy

Vlastnosti Flexiplastu byly zkoušeny na speciálním přístroji v Autun, kde vzorek je namáhán dynamickým vertikálním zatížením s frekvencí 20 Hz a amplitudou 0,2 mm a zároveň dochází oddalováním dvou podstav k horizontálnímu protahování rychlostí 0,01 mm/min. Zjišťuje se pronikání trhliny směrem k povrchu. Zkoušky se provádí při teplotách +20°C a + 5°C. Chování se porovnává s referenčním vzorkem. Za referenční vzorek je

považován písek obalený asfaltem v tloušťce 2 cm zakrytý vrstvou AB tloušťky 6 cm. U této konstrukce došlo k průniku trhliny na povrch po 450 minutách. U Flexiplastu s Elastoplastem tloušťky 3 mm krytého 6 cm AB byl po 600 minutách postup trhliny jen 10 mm. To je podstatně lepší chování než u jiných systémů ochrany proti šíření trhlin.

Laboratoř v Autun provádí hodnocení tak, že jestliže doba porušení je větší než 0,9 doby porušení referenčního vzorku 2 cm obaleného písku vysokým obsahem asfaltu 80/100, považuje se prostředek za účinný. Poměr doby do porušení vzorku a vzorku referenčního písku obaleného asfaltem se označuje jako koeficient r . Při tloušťce membrány 3 mm bylo $r = 2,0$.

Pro srovnání je provedeno porovnání výsledku zkoušky systému s geotextilií, který je převzatý z firemní dokumentace výrobce geotextilie. Je vidět, že trvanlivost Flexiplastu je podstatně vyšší. To potvrzují i pozorování na stavbách ve Francii prováděná pracovníky státní správy. U systému s geotextilií docházelo k rychlejšímu šíření trhlin v krytu než u systému Flexiplast. Uvádí se, že membrány s podrcením měly chování zřetelně horší, pravděpodobně z důvodu propichování membrány drtí. Autoři konstatují, že membrány s podrcením nesplnily očekávání a že se od nich v poslední době upouští.

Zkušenosti s realizací technologií omezujících šíření trhlin k povrchu vozovek [6]

Ve skupině Eurovia se uplatňují dvě technologie omezující šíření trhlin z podkladu k povrchu vozovky. Flexiplast® používá k tomu membránu ze silně modifikovaného asfaltu. Uplatní se v případech vodorovných pohybů na spárách. V případech, kdy se očekávají i svislé deformace, užívá se technologie Viasaf®. Asfaltová směs složená z drobného kameniva obaleného modifikovaným asfaltem je dostatečně deformovatelná, aby absorbovala pohyby na trhlínách či dilatačních spárách. Budou uvedeny příklady realizací ze staveb v zahraničí i v ČR a poznatky z chování vozovek po několikaletém provozu.

V silničním stavitelství existují různé technologie, které se snaží omezovat trhliny šířící se k povrchu vozovky. Jde o poměrně složitou záležitost, které se věnuje ve světě značná pozornost. každé 4 roky se koná „RILEM International Conference on Cracking in Pavements“. Poslední, již 6. konference byla v USA v roce 2008. V ČR byly v roce 2010 novelizovány TP147 „Užití asfaltových membrán a geosyntetik v konstrukci vozovky“.

Úspěšnost technologií omezujících šíření trhlin je vždy možné posoudit teprve po delší době. V ČR realizovaly v devadesátých letech minulého století několik významných staveb s těmito technologiemi Stavby silnic a železnice, které nyní patří do firmy Europa. Jednou z nich bylo rozšíření dálnice D1 mezi Prahou a Mirošovicemi v letech 1996 – 1999, při němž byla stávající betonová vozovka překryta asfaltovými vrstvami. Pro omezení šíření trhlin byla zde použita technologie, jejíž součástí je pružná membrána označovaná jako SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer). Další technologií, kterou lze pro tento účel použít, je asfaltová vrstva označovaná jako SAL (Stress Absorbing Layer). Ta byla použita při rekonstrukci silnice I/3 z Mirošovic do Benešova.

Krátce po realizaci byly dílčí informace o těchto technologiích publikovány při různých příležitostech. První úsek rozšíření D1 byl realizován před 15 lety. Je tedy nyní vhodná příležitost připomenout si stručně některé poznatky ze zmíněných realizací, doplnit je o dlouhodobém chování během provozu a porovnat je s informacemi ze zahraničí.

Je třeba zdůraznit, že žádná z technologií nemůže šíření reflexních trhlin zcela zabránit, ale jen jejich vývoj omezit a zpomalit. V nedávné doktorské práci Bennerta, věnované možnostem omezování reflexních trhlin a predikci jejich vývoje, se v závěrech uvádí, že v USA se ukázalo, že vhodnou metodou SAMI anebo SAL. Fungovaly lépe než metody používající vyztužení asfaltových vrstev. Ovšem Bennert hned připomíná, že i nejlepší metody mají jen 50 % úspěšnost, pokud se za úspěch považuje to, že se vývoj reflexních trhlin oddálí o 5 let.

V rámci rozšíření dálnice D1 byla řešena i rekonstrukce stávajícího betonového krytu vozovky. S přihlédnutím k výsledkům diagnostiky byl navržen nový asfaltový kryt vozovky. Skládal se z vyrovnávací vrstvy, zajišťující změnu příčného sklonu vozovky, ložní vrstvy a obrusné vrstvy. Pro zpomalení šíření trhlin do krytu bylo rozhodnuto použít kompenzační SAMI vrstvu označenou jako technologie Flexiplast®. Ta se skládá z tenké membrány ze silně modifikovaného asfaltu a z mikrokoberce Gripfibre®. Mikrokoberce spolupůsobí s membránou a zároveň ji ochraňuje před účinky pokládky dalších vrstev vozovky. Systém Flexiplast® je ve Francii používán od roku 1990.

Na D1 byla navíc navržena i segmentace betonových desek těžkým breakerem. Rozdělením betonových desek na segmenty se omezí jejich smršťování za nízkých teplot. To přispěje k tomu, že membrána může účinně bránit šíření trhlin i za velmi nízkých teplot, kdy se její průtažnost do porušení snižuje. Segmentace minimální energií umožnila vytvoření vlasových trhlin v cementobetonové desce.

První úsek v km 15,857 – 20,778 byl dokončen v roce 1996. V roce 1999 a 2002 provedli pracovníci ŘSD pod vedením Ing. Krchova prohlídku úseku se zaznamenáním četnosti trhlin. Bylo zjištěno podstatně horší chování ve směru do Prahy, kde byla po provedení spojovacího postřiku asfaltovou emulzí membrána položena přímo na betonovou desku. V následně provedeném úseku z Prahy, kde byla membrána stříkána až na vyrovnávací vrstvu z ACP, kterou byl upraven původně příliš malý příčný sklon na sklon požadovaný projektem. V celém 5 km úseku ve směru od Prahy bylo zjištěno v roce 1999 pouze 6 trhlin. Na úseku do Prahy bylo tehdy zjištěno 35 trhlin. V roce 2002 se jejich počet zvětšil na 92. Počet trhlin v rychlém a středním pruhu byl zhruba stejný. Největší počet trhlin byl v úseku km 17,4 – 16,4.

Úsek km 11,284 – 15,868 byl realizován v roce 1997. Pro snížení nákladů bylo dohodnuto, že bude segmentována celá vozovka, ale systém Flexiplast bude realizován jen v pomalém pruhu. Při vizuální prohlídce se ukázalo, že počet trhlin byl větší v rychlém pruhu, přestože v něm je dopravní zatížení kamiony velmi malé. To dokládá příznivý účinek membrány.

Bohužel membrána nebyla provedena v rychlém pruhu ani v jediné levotočivé zatáčce v tomto úseku, kde je kvůli příčnému sklonu tloušťka asfaltového krytu nad betonovou vozovkou menší. To přispělo k tomu, že v km 14,887 – 15,086 byl počet trhlin v rychlém pruhu podstatně větší než jinde. Po 5 letech se zde přes 11,5 cm vrstev krytu prokopírovala téměř polovina spár v betonové vozovce. Jinde bylo chování uspokojivé. Celkový počet trhlin nad membránou ve směru od Prahy byl 25, což činilo 3 % počtu spár v daném úseku. V opačném směru byl výsledek horší. Počet trhlin byl cca 8 % počtu spár. Celkově však počet trhlin a jejich vývoj odpovídal pozorováním na stavbách ve Francii, kde byla technologie Flexiplast použita. V ČR jsou zimní teploty výrazně nižší. Bez segmentace desek, která omezila smršťování betonu, by byl pravděpodobně počet prokopírovaných trhlin výrazně větší.

Komunikace I/3 Mirošovice – Benešov – příklad aplikace SAL vrstvy

Betonová vozovka v km 4,300 – 14,300 byla překryta asfaltovým krytem v roce 2002 a 2003. Diagnostiku před realizací provedla firma NIEVELT – Labor s.r.o. Na spárách byly naměřeny rozdíly mezi deskami 3 – 10 mm. Charakteristické průhyby při rázových zkouškách vedle spár byly 0,18 až 0,30 mm. Byla použita směs 0/5, která je nyní ve skupině Europia označována jako Viasaf-F®. Obsahovala 8,4 % asfaltu Styref 13 – 80 a

vlákna z textilního odpadu ojetých pneumatik. Mezerovitost směsi stanovená na Marsahllových tělesech byla 1,8 %.

Před položením vrstvy SAL byla provedena segmentace betonových desek breakerem. Prováděla se malou energií, aby vznikaly jen vlasové trhliny. Vrstva SAL měla tloušťku 20 mm. Na ní bylo 60 mm ACL a 40 mm SMA. Směs Viasaf® má velmi dobré relaxační chování.

To způsobuje, že vlivem poklesu teplot v zimním období vznikají ve vrstvě SAL jen malá napětí. To se potvrdilo při ochlazovací zkoušce na VUT Brno. Kritická teplota při porušení tahovou trhlinou byla v jednom případě -27 a v druhém -24°C.

V době realizace nebylo možné provést další reologické zkoušky směsi Viasaf. Proto jsou uvedeny zkoušky reologických vlastností velmi podobné směsi, označené jako RCRI (Reflective Crack Reliéf Interlayer) z několika amerických lokalit, jsou zde prezentovány pro ilustraci některé výsledky. Porovnání složení Viasafu a RCRI je v **Tab. 11**:

Tab. 11 Porovnání směsí Viasaf a RCRI

Vlastnosti směsi	Viasaf	RCRI
Obsah asfaltu [%]	min 8,0 %	7,5 %
VMA [%]	min. 17,5 %	19,1 %
Zrnitost – propad sítem [mm]	Viasaf	RCRI
8 [mm]	100	100
2 [mm]	55 – 75	~ 65
0,063 [mm]	min. 10	~ 8,1

Směs RCRI má nižší tuhost než v běžné AC. Při nižší tuhosti lze u směsi RCRI očekávat příznivější chování za nižších teplot.

Díky velkému obsahu modifikovaného asfaltu má směs řádově větší odolnost proti únavě než běžné směsi. Únava byla zkoušena na trámku zkouškou v čtyřbodovém ohybu s řízenou deformací. Je vidět, že pro stejný počet zatěžovacích cyklů do porušení, přeneseme směs RCRI cca 8 x větší deformaci než běžné směsi, respektive, že pro stejnou deformaci by byl počet cyklů do porušení pro směs RCRI o několik řádů vyšší.

Kromě toho byla únava zkoušena v přístroji zvaném „Overlay tester“. Zkušební těleso spočívá na dělené podložce. Mezera mezi oběma díly se opakovaně zvětšuje na

předepsanou velikost. Ta se stanoví podle očekávaného rozevírání spáry mezi betonovými deskami. Zjišťuje se počet cyklů do porušení tělesa tahovou trhlinou. Standardní směs se porušila již po 5 cyklech. Při tloušťce vrstvy RCRI 12,2 mm a celkové tloušťce zkušebního tělesa 100 mm došlo k porušení po 278 cyklech. Při celkové tloušťce jen 38 mm, ale z toho 25 mm RCRI (což je obvyklá tloušťka směsi Viasaf®), byla zkouška z provozních důvodů ukončena po 2 800 cyklech. Při nich vznikla ve vzorku jen vlasová trhlina, takže do úplného porušení zkušebního tělesa by bylo potřeba ještě aplikovat další cykly.

Komunikace I/3 již funguje po realizaci úprav bez problémů po dobu 8 let. Výše uvedené výsledky zkoušek směsí RCRI ilustrují příznivé chování směsí jako je Viasaf®, což spolu s citlivě provedenou segmentací malou energií a přiměřenou tloušťkou asfaltového krytu, vysvětlují velmi dobré chování provedené úpravy.

Dosavadní zkušenosti Eurovia s technologií SAMI a SAL jsou dobré. Použití technologie SAL na komunikaci I/3 bylo první svého druhu. Od té doby byla použita ještě na několika stavbách a osvědčila se. Chování membrány SAMI na D1 lze považovat za vyhovující. Z hlediska omezení šíření trhlin by bylo při obdobné akce v budoucnu vhodné provést nad SAMI vrstvou směs AC místo VMT, i když by se to pravděpodobně vyžádalo větší tloušťku asfaltových vrstev a možná i vyšší náklady. Omezily by se však náklady na údržbu během provozu (zalévání trhlin atd.). I pro vrstvu SAL se v literatuře doporučuje, aby i asfaltové vrstvy nad ní měly dobrou odolnost proti šíření trhlin (zejména použitím modifikovaných asfaltů a s příznivým chováním za nízkých teplot), případně aby nebyla tuhost vrstvy AC nad SAL příliš velká, protože deformace z podkladu se sice ve vrstvě SAL sníží, ale jejich určitá část se do horní vrstvy přenesou.

Alkalicko-křemičitá reakce – důsledky pro cementobetonové kryty [7]

V různých oblastech Německa byly v posledních letech zjištěny na cementobetonových krytech trhliny, které jsou spojovány s alkalicko-křemičitou reakcí. Další možné důvody pro vznik těchto trhlin jako jsou např. vynucené napětí způsobené teplotními změnami nebo smršťováním nebo zatížení dopravou je třeba také brát v úvahu. Skutečný podíl, který má alkalicko-křemičitá reakce na tvorbě trhlin, bude v brzké době zkoumán v příslušných studiích. Aby již nyní byla učiněna opatření na zamezení budoucího poškození cementobetonových krytů alkalicko-křemičitou reakcí, stanovilo Spolkové ministerstvo

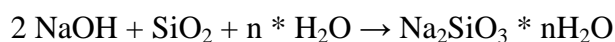
dopravy, stavebnictví a bydlení (BMVBW – Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen) 15/2005 dodatečná opatření při volbě vstupních materiálů do betonu. To se v podstatě týká celkového vyloučení kameniva citlivého na alkálie, odbornými posudky kamenivo ohodnocené jako kritické a vymezení obsahu alkálií v cementu do betonu pro cementobetonové kryty.

V posledních letech se na různých úsecích vozovek z cementobetonových krytů po celém Německu vyskytují trhliny, které jsou dávány do souvislosti s alkalicko-křemičitou reakcí (AKR) jako jejich příčinou vzniku. Alkalicko-křemičité reakce jsou známy přibližně od roku 1940, kdy bylo v USA poprvé zjištěno poškození betonových stavebních dílů, které bylo zpětně označeno za reakci mezi alkáliemi cementu a určitého kameniva. Až do roku 1965 panoval v Německu názor, že na základě geologických útvarů zde v Německu není nutné počítat s významnější alkalicko-křemičitou reakcí. Poškozeními na mostě Lachswehrbrücke ve spolkové zemi Šlesvicko-Holštýnsko, které si během cca 3 let vyžádaly jeho kompletní demolici, se stala tato problematika aktuální i v Německu. Od té doby byly k zabránění této poškozující reakce regulovaná nutná opatření ve směrnici DAfStb (Deutscher Ausschuss für Stahlbeton – Německého výboru pro železobeton) „Preventivní opatření proti škodlivé alkalické reakci v betonu (Alkalické směrnice)“.

Alkalicko-křemičitá reakce

1. Mechanismy a předpoklady

Při alkalicko-křemičité reakci reagují amorfní oxid křemičitý (SiO_2) a hydroxid alkalického kovu (NaOH , KOH) – za přítomnosti vlhkosti – na více či méně hustý alkalicko-křemičitý gel.



Po nasáknutí kameniva je tato reakce spojena s objemovou expanzí. Protože kamenivo je v matici malty pevně usazeno, není k dispozici odlehčující prostor pro expanzi. Objemový nárůst tak vede k vnitřnímu tlaku při bobtnání, který může v krajních případech činit až 20 N/mm^2 . Toto namáhání přesahuje pevnost v tahu přijatelnou pro beton, takže mohou velice snadno vznikat trhliny. Tyto trhliny jsou většinou jemně rozloženy a sít'ové,

nejdou omezeny pouze na viditelnou okrajovou oblast, nýbrž se mohou táhnout celou cementobetonovou strukturou.

Alkalicko-křemičitá reakce probíhají během delšího časového období. Alkálie prosakují z uvolněných pórů postupně také již vytvořenou vrstvou gelu a dále reagují s amorfním oxidem křemičitým v jádru kameniva. Současně se mohou z gelu znovu uvolňovat alkalické hydroxidy, které jsou rovněž k dispozici pro pokračování reakce.

Každé kamenivo obsahující oxidy křemičité se v silně alkalickém roztoku rozpouští. Rychlost reakce se však liší v závislosti na stavu vytvořené struktury. Krystalický kvarcit reaguje například tak pomalu, že během stavebně technické doby životnosti může být označen jako inertní. Ve smyslu zde pojednáváných škodlivých alkalicko-křemičitých reakcí je významné pouze kamenivo s amorfními oxidy křemičitými. Ale i v této skupině kameniva existují významné rozdíly v reaktivnosti. V Německu patří mezi nejreaktivnější kamenivo opály a pazourky, které se téměř bez výjimky vyskytují na severu Německa. To se odrazilo také ve vývoji Směrnice (Preventivní opatření proti škodlivé alkalické reakci v betonu (tzv. Alkalická směrnice)“ Německého výboru pro železobeton. V jejím prvním vydání (1974) byla její platnost omezena výhradně na oblasti spolkové země Šlesvicko-Holštýnsko a na severoněmeckém pobřeží, kde se toto velmi reaktivní kamenivo vyskytuje. Mezitím byla zjištěna alkalicko-křemičitá reakce taky v regionech, ve kterých byly použity droby. Podle toho byla oblast platnosti rozšířena. Zároveň byla alkalicko-křemičitá reakce ojediněle zpozorována také v betonech s drceným kamenivem z oblasti horního Rýna. Tato první, časově velmi vzdálená, pozorování alkalicko-křemičité reakce odrážejí především zřetelné rozdíly v reaktivnosti kameniva.

Jak je již patrné ze srovnání, musely být pro vznik škodlivé alkalicko-křemičité reakce stanoveny následující 3 podmínky:

- V betonu musí být obsaženo kamenivo příslušné zrnitosti citlivé na alkálie. U velmi jemných částic (menší než cca 1 mm) dochází k alkalicko-křemičité reakci stejně, jako u hrubších zrn, tlak při bobtnání zůstává, ale vlivem menší velikosti zrn tak malý, že nevznikne žádné poškození ve formě trhlin.
- V kamenivu musí být obsaženo dostatečné množství alkálií. Podle dosavadních zkušeností je možné počítat s alkalicko-křemičitou reakcí teprve, když obsah alkálií v betonu činí cca 3 kg/m³.
- K alkalicko-křemičité reakci dojde pouze v případě, je-li beton dostatečně vlhký.

Po zjištění alkálií je třeba rozlišovat mezi interním a externím zdrojem. Již při výrobě betonu jsou alkálie uloženy určitým množstvím ve vstupních materiálech (obzvláště v cementu). Alkálie mohou být také zaneseny z venku během používání vozovky, např. u stavebních dílů, které jsou v trvalém kontaktu s mořskou vodou, nebo u takových, které jsou ostřikovány alkalickými rozmrazovacími kapalinami.

2. Jak zabránit škodlivé alkalicko-křemičité reakci?

Pokud beton obsahuje kamenivo s SiO_2 , není v podstatě možné vzhledem k alkáliím obsaženým v cementu alkalicko-křemičité reakci zabránit. Je třeba ovšem vyloučit, aby alkalicko-křemičitá reakce – podmíněná odpovídajícím reaktivním kamenivem a pojivem – mohla proběhnout tak rychle, aby během předpokládané doby životnosti vozovky (většinou do 100 let a více) vedla k masivní tvorbě gelu a eventuálně i k poškození. Aby se této škodlivé reakci předešlo, musí být omezeny alespoň některé z uvedených předpokladů nutných pro její vznik.

V suchých vnitřních prostorech je zpravidla vlhkost vzduchu tak malá, že se zde vzhledem k chybějící vlhkosti alkalicko-křemičité reakce prakticky nevyskytuje. Naproti tomu ve venkovních prostorech je prakticky nemožné této reakci zabránit cíleným zadržováním vlhkosti.

Při výrobě betonu zaujímá cement malý hmotnostní podíl. První možnost, jak zabránit alkalicko-křemičité reakci cementu, je ohraničena tím, že obsah alkálií cementu je omezen. Podle příslušných předpisů – pokud je v betonu obsaženo kamenivo citlivé na alkálie – je třeba použít cement s nízkým obsahem účinných alkálií (NA-cement). Tento cement může, například jako portlandský cement, vykazovat ekvivalent Na_2O maximálně 0,6 % hmotnosti (ekvivalent $\text{Na}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O} + 0,658 * \text{K}_2\text{O}$).

Analogicky byly definovány odpovídající omezení týkající se obsahu alkálií a množství přísad také pro přísady do betonu. Například při použití kameniva citlivého na alkálie, nemá ekvivalent Na_2O přísady do betonu přesáhnout 8,5 % hmotnosti a množství přísady nesmí činit více než 2,5 % hmotnosti z množství cementu.

V případech, ve kterých také během používání dojde k zanesení alkálií z venku, není minimálně u citlivého kameniva (třída citlivosti EIII) samo omezení obsahu alkálií

v cementu dostačující. V takových případech může být alkalicko-křemičité reakci cíleně zabráněno výměnou kameniva.

3. Tvorba trhlin v cementobetonových krytech

a. Příčiny vzniku trhlin

Jak již bylo uvedeno, v posledních letech se na různých úsecích vozovek vyskytují trhliny v cementobetonových krytech, které jsou spojovány s alkalicko-křemičitou reakcí. Jedná se většinou o nápadné podélné trhliny, které jsou navzájem protkány jemnými příčnými trhlinami. Tyto trhliny se často rozprostírají přes celou vozovku (odstavné pruhy a jízdní pruhy). V hlavním jízdním pruhu jsou trhliny přirozeně vyznačeny silněji. Primární příčinou může být nejsilnější zatížení těchto ploch pojezdem nákladních vozidel po vytvoření trhlin.

Na základě jádrových vývrtů mohl být na postižených úsecích bezpochyby prokázán alkalicko-křemičitý gel a tedy předtím proběhnutá alkalicko-křemičitá reakce. Co se týče příčiny vzniku trhlin je ale pouze možné s jistotou konstatovat, že v CB krytu vozovky byla překročena pevnost v příčném tahu betonu. Pro namáhání, která toto překročení způsobilo, přichází u cementobetonového krytu v úvahu kromě alkalicko-křemičité reakce i jiné příčiny.

Především je téměř bezprostředně po pokládce betonu třeba počítat s tím, že se ve vozovce vytvoří vynucená napětí, vyvolaná omezením deformace v důsledku hydratačního tepla, insolace (při vystavení slunečnímu záření) a následného nočního ochlazení.

Kromě toho mohou i změny smršťováním vyvolat vynucené napětí vlivem teplotní změny podmíněné povětrnostními vlivy v průběhu času a roční doby. V minulých letech byly často kryty vozovek vyráběny dvouvrstvé s recyklovanou betonovou drtí ve spodní betonové vrstvě a s obzvláště tvrdým kamenivem ve svrchní betonové vrstvě. Podmíněny rozdílnými teplotními součiniteli pružnosti docházelo v obou vrstvách – především při větších změnách teplot – ke zvýšení napětí v krytu vozovky.

Kromě toho se v posledních letech zvýšily nároky na vozovky ohledně dopravního zatížení. Pokud nebude zvýšeno také povolené zatížení nápravy, bude zaznamenáno zřetelné zvyšování podílu nákladních vozidel na celkové dopravě. V každém případě je

v současnosti třeba vycházet z vyšší rychlosti, obzvláště u nákladní dopravy. Obojí vede na rozdíl od dřívějších dopravních poměrů k zvýšenému dynamickému zatížení cementobetonových krytů vozovek, následkem čehož v průběhu mnoha milionů změn zatížení není také možné vyloučit vnitřní porušení struktury.

Ale také ohledně alkalicko-křemičité reakce je možné brát v úvahu jisté změny. Dříve byly posypové soli zpravidla jako více méně suchý granulát aplikovány na již zmrzlé nebo zasněžené vozovky. Pomocí větru vzniklého jízdou vozidel byly opět částečně z vozovky odnášeny. Dnes naopak jsou často ještě na suchý povrch vozovky preventivně sypány zvlhčované granuláty, které z větší části zůstávají ležet na vozovce. Následně projíždějící vozidla zanesou posypové materiály s obsahem alkálií na rozdíl od minulosti mnohem intenzivněji do cementobetonového krytu, s tím se zvýší externí zanášení alkáliemi.

S ohledem na četnost možností, jak vyvolat napětí ve vozovkách s cementobetonovým krytem, není možné v běžném případě vztahovat tvorbu trhlin na jednu jedinou příčinu. Spíše je třeba vycházet z kombinace vlivů, které se vyskytují zároveň nebo také s časovým posunem. Právě proto již zpravidla není zpětně možná diferenciací, minimálně ta kvantitativní, ohledně jednotlivých účinků. Jako jediná příčina vzniku trhlin je zpětně identifikovatelná alkalicko-křemičítá reakce na základě trvale se tvořícího alkalicko-křemičitého gelu. Ta se zjišťuje pomocí tenkých výbrusů. Ale i to je možné pouze kvantitativně.

b. Opatření na zamezení vzniku alkalicko-křemičité reakce ve vozovkách s cementobetonovým krytem

Na základě trhlin, které se mezitím vyskytly na několika cementobetonových vozovkách, a u kterých nemohla být alkalicko-křemičítá reakce alespoň vyloučena, byla nyní ze strany Spolkového ministerstva vydána se Všeobecným oběžníkem pro silniční stavitelství (ARS – Allgemeine Rundschreiben Strassenbau) číslo 15/2005 z 2. července 2005 Doplnující opatření na zamezení poškození vozovek s cementobetonovým krytem v důsledku alkalicko-křemičité reakce (AKR).

Týkají se především následujících omezení v používání kameniva do silničního betonu:

- Kamenivo, ve směrnici DAfStb „Preventivní opatření proti škodlivé alkalické reakci v betonu (Alkalická směrnice)“ označené jako reaktivní s alkáliemi, nesmí

být obecně při stavbě vozovek s cementobetonovým krytem použito. To se týká převážně opálu, křemičité křídý a pazourku.

- Droba, křemenný porfyr, granulovaná drť ze štěrku z Horního Porýní, recyklované kamenivo a veškerá v Německu zavedená kameniva mohou být při stavbě vozovky z betonu použita pouze v případě, že je prokázána jejich vhodnost pro daný účel odborným posudkem od příslušného orgánu.

V dosavadních výzkumech na jádrových vývrtech vozovek s trhlinami byla zjištěna alkalicko-křemičitá reakce v betonu s drobou, křemenným porfyrem a granulované drtí ze štěrku z Porýní, když je toto kamenivo použito v drcené formě (drť). Na základě čerstvých ploch zlomů není zvýšená reaktivita tohoto kameniva vůči alkáliím nijak zvláštní. Podle toho se výše uvedená omezení pro kameniva vztahují především jen na dodávky drceného kameniva. V odpovídajících výzkumech se mezitím ukázalo, že – obzvláště v oblasti severního Saska, Durýnska a Saska-Anhaltska – i přírodní štěrky, droby a křemenné porfiry mohou mít sklony k zesílené alkalicko-křemičité reakci. Proto v určitých případech mohou být aplikovaná doplňující národní opatření vycházející z Všeobecného oběžníku ARS.

Základní vhodnost kameniva by měla být přezkoušena pro určité naleziště příp. dodavatelský závod již velmi předběžně před počátkem stavebních prací nebo také bez existence konkrétního projektu. Toto základní zkoušení může být rovněž prováděno ve dvou případně ve třech úrovních. Pokud kamenivo ob stojí již v rychlé zkoušce, ve které je kámen vystaven vysoce alkalickému prostředí při 80°C, pak je toto kamenivo možné neomezeně použít při stavbě vozovek s cementobetonovým kryty. Ale ani negativní výsledek této rychlé zkoušky – velmi intenzivní nárazová zkouška (cash test) – nevede k celkovému vyloučení. V tomto případě je hodnocené kamenivo následně podrobeno reálné zkoušce betonu (definovaný beton s cementem bohatým na alkálie (ekvivalent Na_2O cca 1,3 % hmotnosti)) po dobu 9 měsíců ve Wilsonově mlžné komoře při teplotě 40°C. Je-li nyní prokázáno pozitivní chování, je toto kamenivo považováno za vhodné pro stavbu vozovek.

Při negativním výsledku zkoušky v mlžné komoře existuje ještě možnost podrobit kamenivo zkoušce funkčních vlastností pro konkrétní předpokládaný beton. Je možné, že se kamenivo chová ve spojení s příslušným cementem, který případně obsahuje méně alkálií, jako výše uvedený zkušební cement, nebo ve spojení s jiným složením betonu

v mlžné komoře dostatečně vhodně tak, že není třeba se alkalicko-křemičité reakce obávat. Tato možnost, prokázat nezávadnost kameniva ohledně alkalicko-křemičité reakce ve třetí úrovni, je ale spíše teoretická. Ve většině případů není před počátkem stavebních prací k dispozici zkušební doba činící 9 měsíců pro přezkoušení konkrétního betonu – vstupní materiály a složení specifické pro projekt musí být známo.

Výzkumy k základní vhodnosti kameniva jsou zpravidla prováděny mnohem dříve před započatím stavebních prací. Až po dodávku pro konkrétní projekt není možné vyloučit mimo jiné změny v ložisku suroviny. Pro získání dostatečné jistoty, že použité kamenivo nevyvolá poškození způsobené AKR, je třeba je ještě jednou, bezprostředně před počátkem betonářských prací, nyní se zohledněním konkrétního betonu (cement, přísady, složení atd.), znalecky posoudit.

Při tomto jednání není zásadně možné kamenivo, u kterého nelze s jistotou vyloučit škodlivou alkalicko-křemičitou reakci, ve vozovce s cementobetonovým krytem již použít. Mimo to je podle Všeobecného oběžníku pro silniční stavitelství ARS 15/2005 obsah alkálií v cementu dodatečně omezen (**Tab. 12**).

Tab. 12 Přípustný obsah alkálií v cementu pro beton do CB krytů vozovek

Cement	Obsah struskového písku [% hmotnosti]	Obsah alkálií v cementu Ekvivalent Na_2O [% hmotnosti]	Obsah alkálií v cementu bez struskového písku příp. živičné břidlice Ekvivalent Na_2O [% hmotnosti]
CEM I + CEM II/A		$\leq 0,80$	-
CEM II/B-T	21 až 29	-	$\leq 0,90$
CEM II/B-S	21 až 29	-	$\leq 0,90$
CEM II/B-S	30 až 35	-	$\leq 1,00$
CEM III/A	36 až 50	-	$\leq 1,05$

Na rozdíl od dosavadních opatření byl například snížen ekvivalent Na_2O pro portlandský cement (cement CEM I) z 1,0 % hmotnosti na 0,8 % hmotnosti. Toto omezení platí zásadně nezávisle na použitém kamenivu pro všechny betony do vozovek.

S oběma těmito technologickými omezeními jsou splněna opatření, jak podle dnešního stavu znalostí zabránit budoucímu poškození vozovek s cementobetonovým kryty alkalicko-křemičitou reakcí. Aby bylo možné v případě přesto se vyskytujících ojedinělých

trhlin přezkoušet případný podíl alkalicko-křemičité reakce, je podle ARS 15/2005 před každou stavební prací v rámci kontrolního zkoušení třeba provést zkoušky vstupních látek do betonu, které uložil Spolkový ústav pro silniční stavitelství a dopravu.

4. Souhrn

Na vozovkách s cementobetonovým kryty se v různých částech Německa v poslední době vyskytují trhliny, při kterých není možné vyloučit minimálně jako jednu z příčin alkalicko-křemičitou reakci. Při této alkalicko-křemičité reakci reagují především amorfní kyseliny křemičité, které jsou obsaženy v určitém kamenivu, s alkáliemi obsaženými ve vodě v pórech cementobetonového kameniva. Tato reakce, při které se tvoří alkalicko-křemičitý gel, spojena s objemovou expanzí. Vznikající tlak při bobtnání překračuje relativně rychle pevnost v tahu betonu, následkem čehož se tvoří trhliny.

Kromě alkalicko-křemičité reakce je třeba si všímat jiných potenciálních příčin vzniku trhlin, jako je vynucené napětí v důsledku teplotních změn, smršťování a také dopravní zatížení. Podíl, kterým alkalicko-křemičitá reakce přispívá ke vzniku trhlin, bude v blízké době zkoumán odpovídající studií.

Aby bylo možné již nyní splnit opatření k zabránění vzniku poškození alkalicko-křemičitou reakcí ve vozovkách s cementobetonovým krytem, vydalo Spolkové ministerstvo dopravy, stavebnictví a bydlení (BMVBW – Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen) ve Všeobecném oběžníku pro silniční stavitelství ARS 15/2005 doplňující opatření pro volbu vstupních materiálů do betonu. To se v podstatě týká celkového vyloučení kameniva citlivého na alkálie, expertní posouzení kameniva označeného jako kritické a omezení cementu s obsahem alkálií pro cementobetonové kryty vozovek.

3.3.2 Zkušební s překrýváním cementobetonových krytů v USA

Překlad z *Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation* [8]

Příprava CB vozovek pro překrytí asfaltovými vrstvami

Příprava CB krytů před překrytím asfaltovými vrstvami vyžaduje uvážení podmínek průzkumem a nedestruktivními zkouškami. Některá poškození CB krytů mohou být překryta asfaltovou směsí za horka. To je nejjednodušší a nejrychlejší způsob, aby se stávající vozovka stala únosnější, bezpečnější a povrch byl rovnější. Další konstrukční nedostatky (tj. základní selhání) - vyžadují vyplnit dutiny pod CB krytem nebo použít jeden ze způsobů rozlámání desek. Způsoby rozlámání desek – rozdrčení, popraskání/porušení a válcování – jsou popsány jednotlivě v následující kapitole spolu s hledisky návrhu. Hlavní důvody pro překrytí CB krytu asfaltovými vrstvami:

- zvýšení únosnosti zatížení,
- zlepšení jízdních vlastností (pohodlná),
- zvýšení bezpečnosti: zlepšení protismykových vlastností povrchu, rozšíření vozovky (pokud je vyžadováno) a zlepšení geometrických vlastností,
- zlepšení odvodnění vozovky příčným sklonem,
- prodloužení životnosti vozovky vyloučením vody z konstrukce,
- zachování ekonomické hodnoty vozovky,
- možnost jezdit efektivněji a ekonomicky (opotřebení vozidel).

Překrytí asfaltovými vrstvami může být rozděleno do 2 kategorií – funkční (údržba) a konstrukční. Poškození desky pohybem CB krytu nastává v překrytí menším než 100 mm. Údržba překrytím je krátkodobé řešení, pokud má CB kryt konstrukční nedostatky. Řádná příprava a správné provedení překrytí prodlouží životnost vozovky. To je popsáno v následujících kapitolách.

Metody přípravy

Příprava pro překrytí CB krytu asfaltovými vrstvami musí být provedena pečlivě a důkladně, aby se předešlo budoucímu poškození. Válcování je nutné před úpravou desky. Provádí se válcem alespoň 45 tun (50 t). Úprava vozovky může obsahovat jednu nebo více následujících metod zajišťujících stabilitu a spolehlivost CB krytu:

- spodní část desek poskytuje rovnoměrnou podporu,
- způsob rozlámání desek (rozdrcení, popraskání/porušení a válcování),
- prořez a těsnění,
- kompenzační vrstva,
- odstranění a nahrazení porušené nebo ulomené části,
- frézování a broušení,
- záplatování rozpadlé a ulomené části,
- vytvoření tlakové odlehčovací spáry,
- těsnění trhliny a spáry,
- zlepšení odvedení vody z povrchu,
- instalace podpovrchového odvodňovacího systému,
- nahrazení zařízení přenosu zatížení.

Některé z hlavních faktorů, které mají být zváženy při úpravě CB krytu pro překrytí, jsou přiblíženy v následujících odstavcích. Metody pro opravení závady, pumpování, zvětšení, odlupování CB krytu jsou probrány v *Asphalt in Pavement Maintenance (MS-16)*.

Příprava spár

Po stabilizaci CB krytu musí být povrch důkladně očištěn a ošetřen asfaltovou emulzí před položením překryvu. Zkušenosti s CB krytem překrývaným asfaltovými vrstvami ukázaly, že další problémy vznikají v případě řádně nevyčištěných spár. Tyto spáry zadržují vodu a ta vzlíná, pokud se dostane do styku s asfaltovými vrstvami. To se projevuje bobtnáním spáry bezprostředně po zhutnění překrytí a vznikem reflexních trhlin. Spojovací materiál, backer – roads, je doporučen pro lepší spojení vrstev.

Zvýšenou pozornost vyžadují spáry s lepícím materiálem, které neplní svoji funkci. Spáry by neměly být přeplněny. Horní část spojovacího tmele končí pod povrchem CB krytu. Nesprávné aplikování tmelové výplně může mít za následek propad asfaltové vrstvy a trhlinu, která předchází reflexní trhlině. V každém případě by měl být spoj vyčištěn před překrytím. Také má být zajištěno odvodnění k dlouhodobé životnosti.

Rýhované plochy

Překrytí rýhovaných CB krytů vyžaduje speciální zacházení, které je nezbytné proti vlhkostnímu narušení. Pro vyplnění rýh se používá těžký asfaltový nátěr nebo asfaltová těsnicí suspenze. Při neošetření rýh výše uvedeným způsobem, dochází k nahromadění vlhkosti a úbytku spolupůsobení vrstvy CB krytu a asfaltové vrstvy. Další variantou je broušení nebo frézování rýhovaných ploch.

Lesklé plochy

Spolupůsobení CB krytu a asfaltové vrstvy závisí na drsnosti CB povrchu. Lesklé plochy získají texturu překrytím, které zaručuje spojení. Tyto povrchy jsou často savé a absorbují vodu i nadále po překrytí. Dostačující tloušťka překrytí zajišťuje dobré spolupůsobení se samotnou konstrukcí.

Nestabilní desky

Nestabilní desky (volné a houpající se) musí být stabilizovány ještě před překrytím asfaltovou vrstvou, jinak dochází k vertikálním pohybům i po překrytí, což vede ke vzniku reflexních trhlin. Před stabilizací desek se provede podpovrchová odvodnění. Možnosti stabilizace volných desek:

- záplatování a nahrazení materiálu pod deskou

Vážně popraskané části vozovky by měly být odstraněny a nahrazeny v plné tloušťce. Nadměrné množství nevhodného materiálu pod deskou by mělo být nahrazeno vhodným materiálem. V případě pohybu desek vlivem vnikání vody a jejími objemovými změnami, je nutné provést drenáž. Při povrchovém poškození není nutná oprava na celou tloušťku konstrukce.

- sedání

Houpající se a pumpující desky mohou být usazeny pojezdy těžkým pneumatickým válcem (35 – 50 tun), který zároveň zajistí segmentování desky na menší části, čímž výrazně klesá riziko vzniku reflexních trhlin.

Prořez a těsnění

Prořez a těsnění nové překryvné asfaltové vrstvy je efektivní způsob ke snížení možnosti vzniku reflexních trhlin přímo nad stávajícími spárami v CB krytu. Výhody jsou:

- kontrola nad šířením trhlin,
- možnost udržovatelnosti spáry,
- prodloužení životnosti,
- kontrola nákladů na údržbu,
- lepší vzhled.

Postup:

1. zjištění umístění a popis stávající spáry v CB krytu,
2. položení překrytí,
3. prořezání přímo nad stávající spárou,
4. vyčištění a vysušení prořezu,
5. těsnění.

Údržba reflexních trhlin je složitá a nákladná. Těsnění těchto spár je nezbytné ihned po překrytí konstrukce. Prořez však není určen pro náhodné trhliny, pro CB vozovky, které přišly o podporu podloží ve spojích od pumpování - neporušená struktura a pro narušený beton.

Překrytím CB krytů dochází ke zvýšení modulu tuhosti, zlepšení protismykových vlastností a snížení hluku. Vozovky s kvalitním podložím jsou zvláště vhodné pro prořez a těsnění. Desky musí být stabilní a musí dobře přenášet zatížení na spárách ($\geq 60\%$), je doporučeno vytvoření drenážního systému – stejně jako u lámání desek. Po stabilizování

desek (nebo stanoveny jako stabilní) by se měly všechny trhliny a spáry vyčistit a vyplnit tmelem. Vyhovující materiál pro tuto operaci je popsán v *ASTM D3405*.

Konstrukční hlediska

Jako součást hodnocení materiálů by měl být posouzen stav stávajících desek za účelem zjištění vhodnosti některých trhlín v překrytí. Pokud vozovky měly spáry, které kompletně selhaly, nadměrný rozdíl průhybu ve spárách nebo náhodné trhliny v deskách, je možné použít další možnosti jako rozdrčení nebo popraskání/porušení a válcování. Tloušťka překrytí je stanovena v souladu s účinnou tloušťkou nebo s průhybovou metodou, nebo pomocí postupů uvedených v posledním dodatku *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Největší tloušťka se bude pohybovat v rozmezí daným návrhem překrytí a konstrukčním minimem (**Tab. 13**). Použije-li se prořez a těsnění pro kontrolu reflexních trhlín, měla by být použita požadovaná konstrukční tloušťka překrytí.

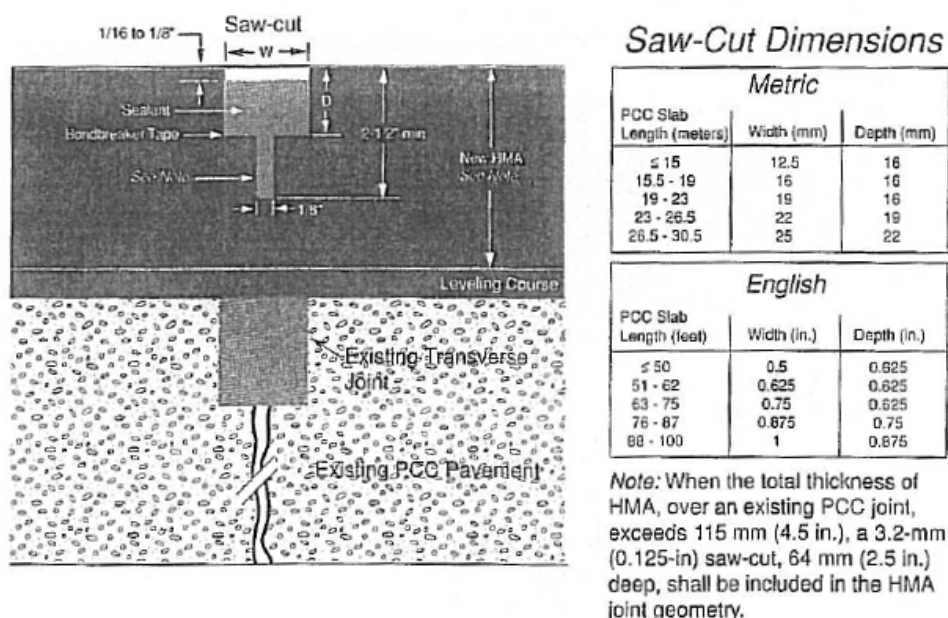
Tab. 13 Minimální tloušťka překrytí v závislosti na teplotě a délce CB desky

Slab Length (ft)	Temperature Differential (°F)						Slab Length (m)
	30	40	50	60	70	80	
10 or Less	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	3
15	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	4.5
20	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	130mm (5 in.)	140mm (5.5 in.)	6
25	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	130mm (5 in.)	150mm (6 in.)	180mm (7 in.)	7.5
30	100mm (4 in.)	100mm (4 in.)	130mm (5 in.)	150mm (6 in.)	180mm (7 in.)	200mm (8 in.)	9
35	100mm (4 in.)	115mm (4.5 in.)	150mm (6 in.)	180mm (7 in.)	215mm (8.5 in.)	Use Alternate 2 or 3	10.5
40	100mm (4 in.)	140mm (5.5 in.)	180mm (7 in.)	200mm (8 in.)	Use Alternate 2 or 3	Use Alternate 2 or 3	12
45	115mm (4.5 in.)	150mm (6 in.)	190mm (7.5 in.)	230mm (9 in.)	Use Alternate 2 or 3	Use Alternate 2 or 3	13.5
50	130mm (5 in.)	160mm (7 in.)	215mm (8.5 in.)	Use Alternate 2 or 3	Use Alternate 2 or 3	Use Alternate 2 or 3	15
60	150mm (6 in.)	200mm (8 in.)	Use Alternate 2 or 3	Use Alternate 2 or 3	Use Alternate 2 or 3	Use Alternate 2 or 3	18
	17	22	28	33	39	44	
	Temperature Differential (°C)						

Označování spár

Příčné spáry jsou vždy řezány tak, aby odpovídaly spárám ve spodní desce. Ty musí být přesně lokalizovány a označeny na stávající vozovce. Označení spár musí být provedeno

osazením pevných značek (magnety nebo čepy, barvou nebo kolíky) již v době řezání po obou stranách pruhu. Prořez musí být proveden přímo nad stávajícími spárami k zamezení tvorby dalších trhlin (**Obr. 8**). Řezání se může provádět za mokra nebo za sucha, spára musí být vyčištěna a vysušena před zatmelením.



Obr. 8 Detail příčného prořezu spáry v překryvné asfaltové vrstvě

Podélné trhliny jsou řezány podle jejich stavu a v závislosti na velikosti příčného pohybu. Více konzervativní přístup, i když méně častý, by byl uskutečnit obojí.

Úspěch této metody překrytí je závislý na co nejbližším prořezu spáry nad původní spárou.

Kompenzační vrstva

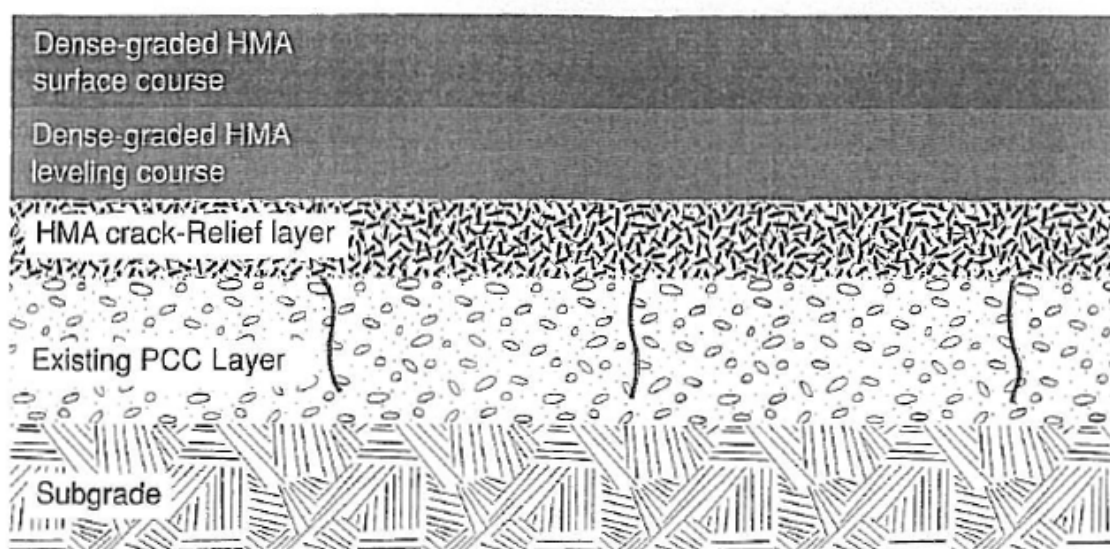
Kompenzační vrstva je navržena speciálně pro minimalizaci prokopírování reflexních trhlin ze starého CB krytu do nového asfaltového. Tloušťka kompenzační vrstvy je obvykle 90 mm, jedná se o hrubozrnnou asfaltovou vrstvu, s mezerovitostí 25 – 35 % a zhotovené ze 100 % drceného materiálu. Vysoká mezerovitost kompenzační vrstvy zabraňuje pohybům podkladové desky (způsobující trhliny). Umisťuje se jako první vrstva z překryvného systému.

Překrytí vyžaduje 3 vrstvy. První je kompenzační vrstva, dalšími jsou ložná a obrusná (**Obr. 9**).

Velikost zrn v ložné vrstvě by měla být taková, aby zrna nepronikla do mezer kompenzační vrstvy. Obvykle je uvedena směs o velikosti zrna 38 mm na tloušťku vrstvy 50 mm. Pak může sloužit pro tento překryvný systém jako vyrovnávací vrstva.

Obrusná vrstva má tloušťku nejméně 38 mm a velikost zrna směsi je maximálně 19 mm. Pokud se použije kompenzační vrstva o tloušťce 90 mm, je tloušťka překrytí, včetně vyrovnávací vrstvy, 175 – 225 mm (**Obr. 9**).

Tab. 14 znázorňuje doporučené limitní tloušťky pro kompenzační vrstvu. Použití určité směsi by měla také záviset na materiálových vlastnostech ve stávající vozovce. Vysoce rozpínavé CB vozovky, jako jsou vozovky s křemičitým štěrkem nebo se spárami od sebe vzdálených více jak 6 m, požadují kompenzační vrstvu s větším maximálním zrnem směsi (mix A nebo B). Méně rozpínavý CB kryt může být překryt mixem C.



Obr. 9 Kompenzační vrstva v překryvném systému

- Požadavky na kamenivo: pevný, hrubý, drcený kámen, drcený štěrk nebo drcená struska
- Povrchová struktura: velmi otevřená a porézní (vyžaduje kryt)
- Dopravní omezení: veškerý provoz by měl být veden mimo tuto vrstvu, dokud není položena další vrstva

Doporučení pro míchání a umístění:

- Čas míchání: 30 s (max.)
- Teplota míchání: 93 - 121 °C
- Válcování: 3,5 – 9 tun (4 – 10 tun)
- Hustota: bez požadavku
- Návrh míchání: nacházející se v dosahu odstupňování

Tab. 14 Doporučené limitní tloušťky pro kompenzační vrstvu

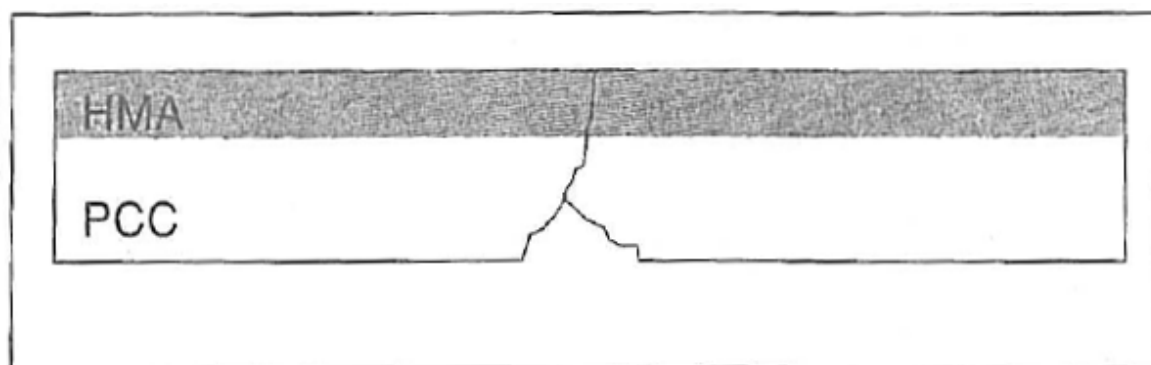
Percent Passing		Blend		
Sieve		A	B	C
75 mm (3 inch)		100	-	-
63 mm (2 1/2 inch)		95-100	100	-
50 mm (2 inch)		-	-	100
37.5 mm (1 1/2 inch)		30-70	35-70	75-90
19.0 mm (3/4 inch)		3-20	5-20	50-70
9.5 mm (3/8 inch)		0-5	-	-
4.75 mm (No. 4)		-	-	8-20
2.36 mm (No. 8)		-	0-5	-
150 µm (No. 100)		-	-	0-5
75 µm (No. 200)		-	0-3	-
Asphalt Content		1.5 - 3.0%		
		(AC-40, 40-50 pen, or AR-16,000)		

Vzhledem k tvrdosti směsi by měl být použit pro rozprostření kompenzační vrstvy pouze těžký asfaltový rozhrnovač. Zhutnění kompenzační vrstvy by mělo být dosaženo statickým válcem o hmotnosti 3,5 – 9 tun (4 – 10 tun). Těžší zařízení by mohlo rozdrtit kamenivo. 1 – 3 pojezdy by měly být dostatečné. Větší počet pojezdů by mohl vést k nechtěnému rozdrčení kameniva. Kompenzační vrstva by měla být pokryta vyrovnávací vrstvou s jistým časovým odstupem a s vyloučením dopravy. Spojovací postřik není obvykle potřebný před položením kompenzační vrstvy.

Způsoby lámání desek

Překrytí asfaltovými vrstvami je často vynikající způsob pro obnovu CB vozovek, když přestávají plnit svoji funkci. CB vozovky jsou roztahovány a smršťovány se zvyšující se a klesající teplotou vozovky. Nízké teploty způsobují smršťování CB vozovek – otevírají se spáry a tvoří se trhliny. Otevírající se spáry vyvolávají napětí na spodní asfaltové vrstvě.

Když takové napětí překročí sílu překryvných asfaltových vrstev, trhlinka se začne kopírovat z CB krytu do asfaltových vrstev. Trhliny se šíří až na povrch (**Obr. 10**). Neutěsněnými trhlinami se do podloží dostane vlhkost a to vede k předčasnému selhání.



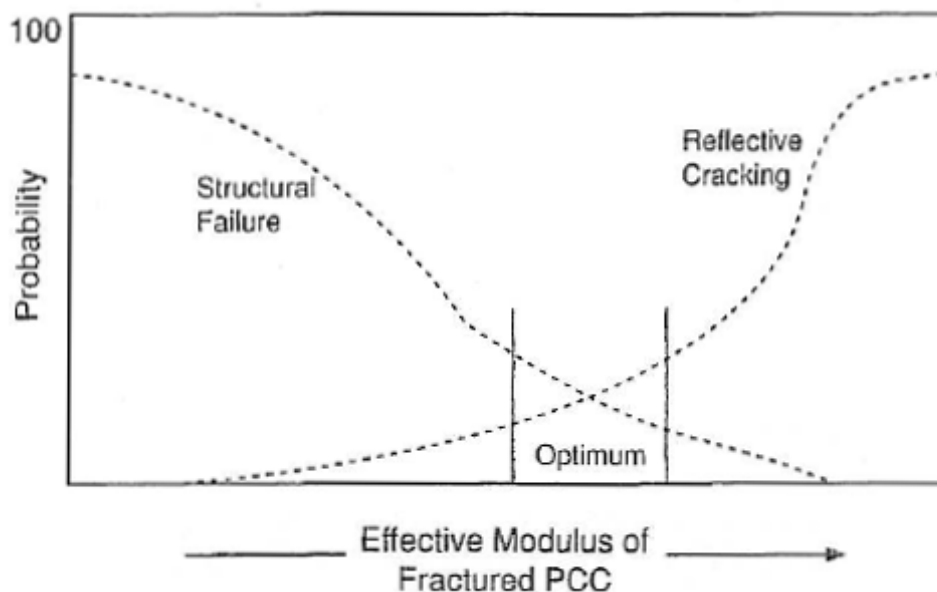
Obr. 10 Šíření reflexní trhliny na povrch asfaltových vrstev

Navíc rozdíly deformace a odchylky desky vytváří smykové napětí, které také způsobuje reflexní trhliny. Velikost deformace se bude lišit v závislosti na přenosu zatížení, na přítomnosti (absenci) dutin pod CB vozovkou a na příčných spárách. Smykové napětí může způsobit reflexní trhliny, zejména když jednotka přenosu zatížení funguje špatně a když působí velké množství těžké nákladní dopravy. Staré pravidlo uvádí, že reflexní trhliny budou postupovat vzhůru přes vozovku cca 25 mm za rok. Avšak zkušenosti ukazují, že v náročných podmínkách reflexní trhliny míří k povrchu 150 mm za méně než jeden rok. Technologie rozlámání vozovky nabízí několik možností odstranění reflexních trhlin překrytím CB vozovky asfaltovými vrstvami.

Možnosti: rozdrcení, popraskání/porušení a válcování

Všeobecná kritéria návrhu

Existuje přímý vztah mezi zpětným výpočtem efektivního modulu (E_f) a celkovou účinností stavebních prací ke snížení efektivního modulu desky a deskového působení. Tužší podloží vyžaduje větší energii pro proces prasknutí k dosažení určité úrovně požadovaného E_f . Čím nižší E_f , tím účinnější stavební metody jsou potřeba k minimalizaci rizika vzniku reflexních trhlin v překryvu asfaltovými vrstvami.



Obr. 11 Optimální rozsah efektivního modulu

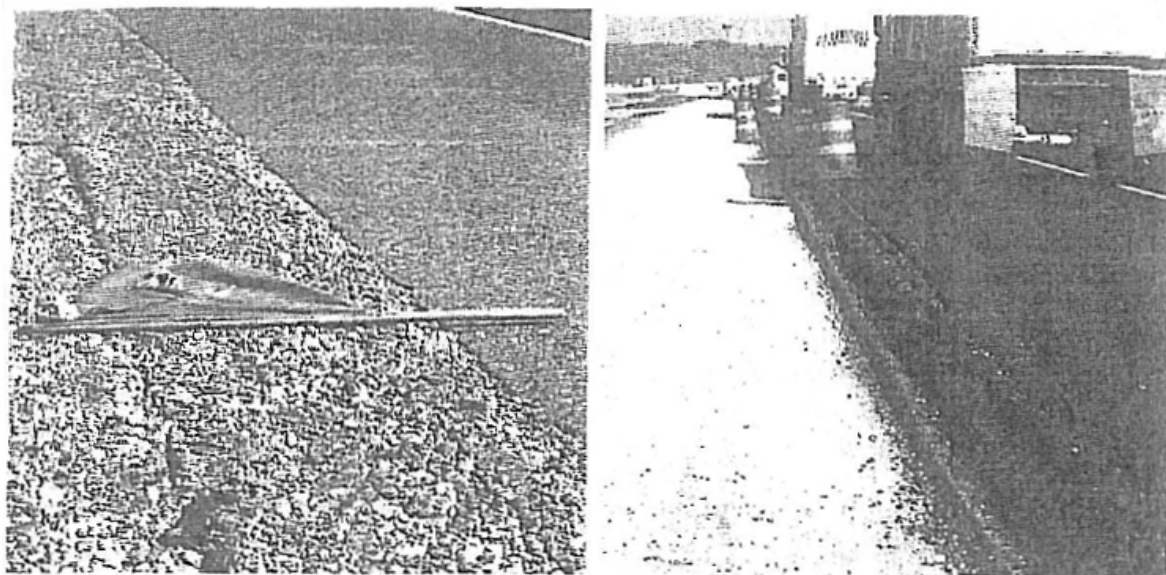
Studie ukázaly, že pravděpodobnost vzniku reflexních trhlin se snižuje s klesajícím efektivním modulem a zvyšující se tloušťkou překrytí. Protože se snižuje modul tuhosti betonu, pravděpodobnost poruchy se zvyšuje – je třeba zvýšit tloušťku překrytí, aby se tato ztráta překonala. Vzhledem k tloušťce překrytí, která je v kritickém rozsahu modulu, je pravděpodobnost pro oba druhy poruch minimalizována (**Obr. 11**). Výzkum různých způsobů zlomení desek ukázal, že předběžný odhad tohoto modulu je v rozsahu mezi 3 500 – 7 000 MPa pro popraskané a uvalcované desky a mezi 1 750 – 3 500 MPa pro rozdrčené vozovky.

Rozdrčení

Rozdrčení zahrnuje porušení vozovky na části o velikosti maximálně 75 mm nebo méně a 200 mm nebo méně pro vyztužené desky. Výztuž v CB krytu rozptyluje energii breakru, což vede k většímu počtu fragmentů. Je nezbytné rozpojit veškerou výztuž v CB krytu a oba typy vozovek rezonančně rozrušit. Multiple head breaker dosáhne přiměřeného rozpojení. Pokud je dosaženo sutě vozovky a rozpojení, jsou splněny požadavky na velikost fragmentů. Na **Obr. 12** je ukázána podobnost rozdrčené vozovky a drčeného kameniva.

V minulosti CB desky byly lámány pomocí „headache balls“ nebo různými typy breakerů. Ty byly méně účinné a vytvářely nerovnoměrně nafragmentovaný materiál.

Rezonanční breakery vozovek a multiple head breakery vytvoří rovnoměrný fragment účinným způsobem.



Obr. 12 Rozdrcená vozovka

Zařízení pro drcení CB krytu

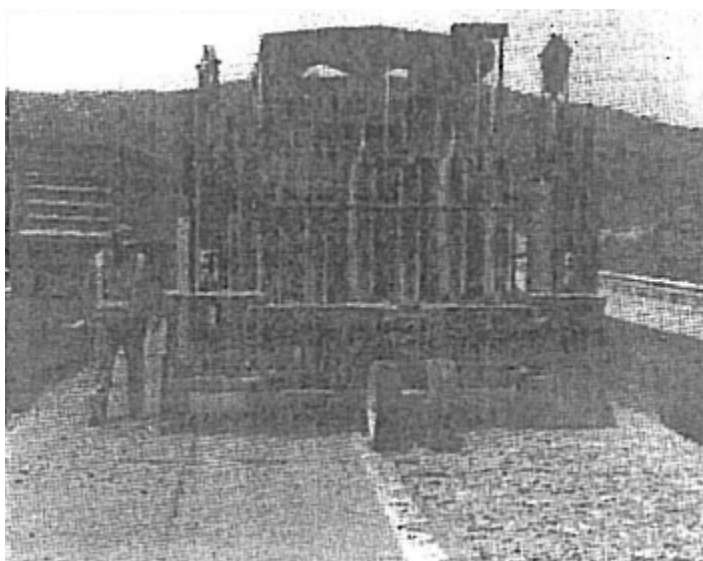
Rezonanční breaker vozovky je schopen vytvářet nízkými dopady vysokou frekvencí síly přes masivní ocelový nosník. Nosník je popisován jako „obří vibrační vidlice“. Hydraulicky poháněné soustředné závaží převádí kruhový pohyb do vibračního pohybu, který je přenášen do podstavce, který se pohybuje na povrch vozovky v přední části stroje (**Obr. 13**). Tento stroj vyžaduje několikrát absolvování rozdrcení na celou šířku pruhu.



Obr. 13 Rezonanční breaker vozovky

Jednotka je obvykle vybavena vodním systémem chlazení hlavy breakeru, který potlačuje prach vytvořený při činnosti breakeru. Rychlost pojezdu breakeru vpřed ovlivňuje míru porušení a měla by být taková, aby velikosti fragmentů odpovídaly zadaným parametrům. Breaker může mít potíže s porušením fragmentů vozovky tl. 300 – 450 mm. Začíná se na krajnici nebo na volném okraji a pokračuje se na podélné spáře, tím se minimalizuje tento problém. Rezonanční breaker vozovky potřebuje k práci odpor podloží, tudíž měkké podloží může vést ke zmenšení účinnosti rozdrčení.

Multiple head breakery mají 12 – 16 kladiv po 455 – 680 kg, upevněny bočně v páru, s polovinou kladiv v první řadě a zbytek upevněný diagonálně v zadní řadě (**Obr. 14**). Každá dvojice kladiv pracuje jako samostatná jednotka energií 1 475 – 8 850 J v závislosti na výšce zdvihu kladiv (max. výška = 1,5 m). Cyklus zdvihu se pohybuje od 0 do 35 dopadů/min. Zařízení pracuje rychlostí od 2,5 – 16 m/min. Multiple head breakery drtí v jednom průchodu a mají šířku od 0,6 – 3,8 m



Obr. 14 Multiple Head Breaker

Válcování

Po rozdrčení a před položením překryvných asfaltových vrstev, by měla být rozdrčená vozovka uválcovaná nejméně třemi pojezdy využívajícími vysokou frekvenci vibrátoru. Válec je vybavený mřížkou se Z-vzorem na čele. Z-mřížka (**Obr. 15**) snižuje velikost fragmentu na 25 – 50 mm. Použití vibračního režimu zajistí zaklenutí všech částic dohromady. Výztuž by měla být odřezána a odstraněna.



Obr. 15 Válec se Z - mřížkou

Válcování je konečná fáze rozdrčení a je navrhována k nalezení míst se špatnou podporou. Tyto plochy by měly být vyhloubeny, odkopány a nahrazeny vhodným materiálem. Obvykle 5 – 10 % vozovek potřebuje zlepšit. Proces rozdrčení zahrnuje:

- odstranění stávajících překrytí,
- zavedení drenážního systému 2 týdny (minimálně) před rozdrčením vozovky,
- prořez na celou tloušťku vozovky se sousedícími úseky,
- rozdrčení CB vozovky,
- odříznutí a odstranění výztuže,
- válcování,
- odstranění a nahrazení měkkého podloží,
- válcování CB vozovky nejméně 3 pojezdy,
- položení překryvných asfaltových vrstev.

Konstrukční hlediska pro rozdrčení CB krytu

Celkové hodnocení stávající CB vozovky musí být provedeno před výběrem vhodné techniky. Hodnoceno je procento a druh vyztužení, stav stávajících desek, rozdíl průhybu desek, rozdíl krajů spojů desek, stav životního prostředí, tloušťka desek, podmínky odvodnění a odhad budoucího dopravního zatížení.

Pokud je přítomen vyztužený podklad a spojitě vyztužený podklad, podmínky pro rozdrčení jsou zhoršeny a projektant musí navrhnout další způsob přípravy CB krytu pro překrytí asfaltovými vrstvami. Proces rozdrčení vytváří z desky vynikající zrnitý základ pro překrytí a eliminuje vznik reflexních trhlin. Rozdrčení CB krytu však také snižuje modul tuhosti stávajícího betonu pro překrytí. To vede ke vzniku pružné, ale spojené struktury. Dva způsoby charakteristického rozdrčení vozovek pro návrh překrytí:

Zjednodušená metoda

Zjednodušená metoda přiřadí vrstvě koeficient na základě zkušeností. Hodnoty koeficientů vrstev *AASHTO* kolísají mezi 0,14 a 0,30. Minimální hodnota 0,14 je pro dobře drčené kamenivo. Reálnější hodnota je 0,25 – 0,35. Níže jsou uvedeny empirické hodnoty pro lánané betonové desky, které mohou souviset s konverzním faktorem (*C*) používaným pro návrh účinné tloušťky. Asphalt Institut konzervativně uvádí rozsah 0,16 (nestabilní desky) až 0,30 (stabilní desky), což odpovídá konverznímu faktoru $C = 0,36$ a $C = 0,55$.

Tab. 15 Koeficienty vrstvy

<u>Design Reliability</u>	<u>Layer Coefficient</u>	
	<u>AASHTO</u>	<u>AI conversion factor, C*</u>
75 percent	0.34	.77
85 percent	0.31	.70
90 percent	0.29	.66
95 percent	0.27	.61
99 percent	0.20	.45

*C is the conversion factor equating a given material to a new HMA equivalent (0.44)

Deformační metoda

Vzhledem k vlastnostem rozdrčené vrstvy je prováděno nedestruktivní zkoušení. Nerovný povrch nenapomáhá k měření deformací, to je pak složité a nespolehlivé. Nedestruktivní zkoušky mohou být provedeny i po překrytí jednou nebo více asfaltových vrstev a mohou být použita data ze zpětného výpočtu modulu tuhosti rozdrčené vrstvy.

Dle zkušeností se u správně rozdrčené a zhutněné CB vrstvy pohybuje modul tuhosti obvykle od 1 725 MPa. Je uváděna minimální tloušťka pro překrytí metodou rozdrčení 125mm.

Popraskání/porušení a válcování

Metoda popraskání/porušení a válcování je určena ke snížení účinné délky desky CB krytu porušením na předem stanovené menší segmenty. Velikosti segmentů se obvykle pohybují od 0,3 x 0,6 m – 1,2 x 1,8 m. Nejčastější rozměry jsou 0,46 x 1,2 m (**Obr. 16**). Metoda popraskání a válcování je nejvíce vhodná pro CB vozovky se spárami.



Obr. 16 Vzorové trhliny popraskání a porušení

Tato technika vyžaduje porušení na celou tloušťku desky. Porušení viditelné na povrchu nemusí zasahovat vždy přes celou tloušťku, obzvláště když je přítomna výztuž. Vyztužené vozovky potřebují větší energii k porušení – porušení a válcování. Popraskání a válcování se používá obvykle pro CB vozovky bez vyztužení. Vzorové trhliny od popraskání a válcování jsou viditelné pouze za mokra, zatímco od porušení a válcování jsou viditelné i za sucha. Úspěšně provedená metoda popraskání/porušení vozovky zkracuje délku segmentu, zmírňuje nadměrné pohyby (jak horizontální, tak vertikální) při zachování stabilní základny pro překryv.

Výběr cracking zařízení je závislý na schopnosti rychle porušit desku v plné tloušťce bez nadměrného odlupování povrchu. Gilotina je nejpoužívanější zařízení pro tuto techniku.

Cracking/breaking zařízení

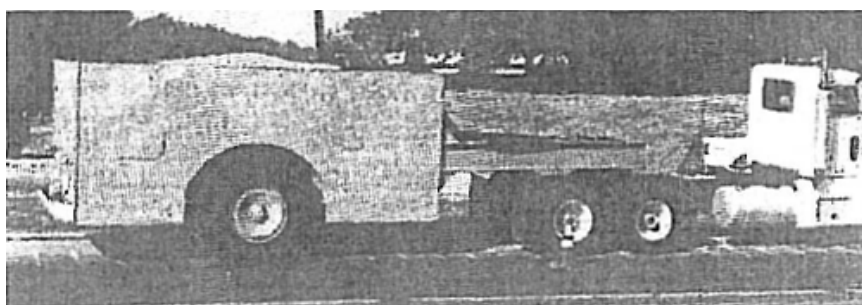
Gilotina porušuje vozovku údery/dopady jejího závaží/kladiva. Závaží má rozměry na dopadající ploše 100 – 175 mm (tloušťka) x 1,5 – 3,0 m (šířka). Celková hmotnost závaží se blíží 9 tunám (**Obr. 17**).



Obr. 17 Gilotina

Hutnění

Válcování nebo hutnění rozlámané vozovky se provádí za účelem zablokování roztržštěných segmentů a usazení segmentů do všech prostor základu pod CB deskou. Tohoto jevu je dobře dosaženo pomocí 2 – 5 pojezdy 45 t (50 t) pneumatického válce (**Obr. 18**). Případně 4 – 7 pojezdy 32 t pneumatickým válcem. Ocelové bubnové válce (vibrační a statické) nejsou doporučeny. Několik pojezdů těžkým válcem je všeobecně vhodnější řešení než více pojezdů lehčím válcem. Výjimkou by mohla být starší vedlejší komunikace s tenkou vozovkou. V takových případech může těžší válec poškodit podklad. Válcování by se nemělo provádět při nasyceném podkladu vodou.



Obr. 18 Pneumatický válec

Základní kroky:

- odstranění stávajícího překrytí,
- zavedení drenážního systému 2 týdny (minimálně) před rozlámáním vozovky,

- popraskání/porušení CB desky,
- odstranění zlomené (rozřezané) a obnažené výztuže (porušení a válcování),
- válcování rozlámaného CB krytu,
- odstranění a nahrazení měkkého podloží,
- kompaktně rozlámaný CB kryt,
- zametení povrchu,
- aplikace spojovacího postřiku,
- položení vyrovnávací vrstvy a překryvných vrstev.

Konstrukční hlediska (popraskání/porušení a válcování)

Rozlámání CB krytu vede ke snížení modulu pružnosti základny pro překrytí. Vznikne částečně tuhý poloprostor. Dva způsoby charakteristického rozlámání vozovek pro návrh překrytí:

Zjednodušená metoda

Zjednodušená metoda uvedená v *1993 AASHTO Guide for Design of Pavement Structures* předepisuje koeficient pro vrstvu dle vzdálenosti popraskání betonu.

Efektivní modul a koeficient vrstvy rozlámaných CB desek souvisejí s velikostí úlomků. Nicméně tyto hodnoty nejsou přesné a nejsou doporučeny.

Z průzkumu vyplynuly níže uvedené AASHTO koeficienty. Asphalt Institut používá konverzní faktory pro návrh spolehlivosti lámaných a válcovaných CB vozovek. Asphalt Institut uvažuje konzervativní návrh v rozmezí 0,22 – 0,31 pro AASHTO koeficient vrstvy a 0,5 – 0,7 pro Asphalt Institut konverzní faktor.

Tab. 16 Koeficienty vrstvy

Design Reliability	Layer Coefficient	
	AASHTO	AI conversion factor, C
75 percent	0.34	.77
85 percent	0.31	.70
90 percent	0.29	.66
95 percent	0.27	.61
99 percent	0.20	.45

Deformační metoda

Deformační metoda používá deformační analýzu zpětného výpočtu efektivního modulu (E_f) pro lámané CB kryty. Je doporučeno, aby systém zpětného výpočtu bral v úvahu několik úprav nebo model chování nelineárního podloží. Bez těchto úprav jsou moduly vypočítány pro lámané vrstvy a mohou být podceňovány.

Měření deformací se provádí ihned po rozlámání a uválcování vrstvy. Místům na volném povrchu materiálu je potřeba se při měření vyhnout. Zpětný výpočet modulu se uvažuje jako průměr modulů a standardní odchylka s_f je stanovena pro díly.

Provedení je značně závislé na crakingu CB krytu. Deska musí být zlomená na celou tloušťku, to zmírňuje horizontální pohyby pod překrytím. Zkušenosti ukazují, že trhliny viditelné na povrchu vždy nepronikly po celé tloušťce desky. Zařízení by měla být vybrána právě na základě tloušťky vozovky a podmínkách podkladu. Velikost segmentů byla vypočítána dle odpovídajícího E_f .

Výběr správné možnosti

Zvažuje-li se obnova CB vozovky, technologie rozlámáním (popraskání/porušení a válcování a rozdrčení) je přijatelná. Rozhodování o zvolení technologie je závislé na konstrukční a ekonomické analýze. Klíčové otázky ke zvolení:

- Jaký je všeobecně stav vozovky?
- Je CB vozovka vyztužená?
- Jaká část stávající CB vozovky bude potřeba opravit?

Vozovky ve vyhovujícím stavu (0 – 13 % plochy je třeba opravit) jsou dobrými kandidáty pro překrytí asfaltovými vrstvami s prořezáním a těsněním příčných spár. Vozovky v nevyhovujícím stavu (vysoké procento potřeby opravy) jsou vhodné pro technologii lámání desek.

Další hlediska

Některá další hlediska, která musí projektant zvážit, jsou změna vrchní struktury, začlenění do stávající struktury, úprava svodidel a účinná stávající drenáž.

Návrh překrytí tuhých vozovek

Stejně jako netuhé vozovky, tak i tuhé vozovky, mohou vyžadovat opravu překrytím kvůli deformacím na povrchu nebo zesílením přizpůsobit vozovku zvyšujícímu se dopravnímu zatížení. Překrytí netuhých vozovek je složité, hrozí vznik reflexních trhlin (trhliny v překryvných asfaltových vrstvách, trhliny nad spárami původních vozovek).

Tato kapitola uvádí specifické postupy při zjišťování modulu tuhosti stávající tuhé vozovky a při výpočtu tloušťky zesílení asfaltovými vrstvami. Jedna metoda, kterou používá Asphalt Institut, je účinná tloušťka. Výpočet tloušťky překrytí pro tuhé vozovky je v podstatě stejný jako pro netuhé vozovky. Konstrukční tloušťka překrytí je stejná jako tloušťka nové asfaltové vozovky. Tento výpočet je založen na určení tloušťky a stavu stávající vozovky.

Terénní šetření

Terénní průzkum by se měl provádět ke stanovení modulu tuhosti a stavu stávající CB vozovky. Typické průzkumné práce:

- průzkum stavu vozovky,
- měření průhybu,
- vývrty ke zjištění tloušťky (laboratorní testování),
- petrografická analýza betonového vzorku,
- půdní vrty k průzkumu podloží.

Průzkum stavu

Trhliny a narušení CB vozovek jsou obvykle spojeny s problémem, který může vyústit nadměrnými průhyby, proto se provádí průzkum stavu vozovky. Zkoumají se: trhliny, vady, odlupování, pumpování, přítomnost vody, stav spár, přenos zatížení a kvalita jízdy.

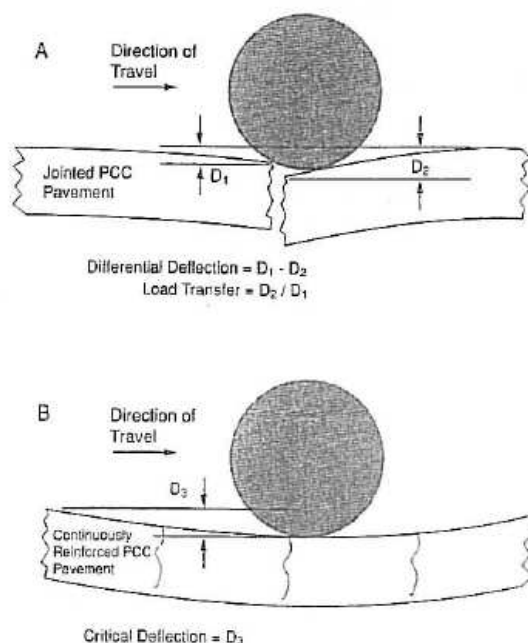
Vývrt z vozovky, vzorek základu a podloží – nebo všechny tři – by měly být přijaty zkouškou, pokud deska pumpuje, vykazuje nadměrné průhyby nebo jsou zjištěna jiná vážná zhoršení.

Přítomnost volné vody ve struktuře vozovky se zaznamená (staničení) ke stanovení nutnosti drenážního systému.

Měření průhybu

Měření průhybu probíhá jako reakce vozovky na použité zatížení. Měření se provádí ve středu CB desky a podél okraje různými stroji: Benkelman Beam, Dynaflect, Road Rater a Falling Weight Deflectometer (FWD). Pro dvoupruhové dálnice se měření odchylek provede na obou stranách ve středu. Měření ve středu desky slouží k výpočtu modulu tuhosti podloží pomocí metody zpětného výpočtu.

Další měření průhybu by mělo být na rozích, spárách, trhlinách a v nevyhovujících oblastech. Celkový vertikální pohyb v těchto místech je důležitý, ale ještě závažnější je rozdíl pohybů. Dopravní zatížení je definováno jako poměr průhybu spár nebo trhlin k průhybu (**Obr. 19**).



Obr. 19 Rozdíl deformací a přenos zatížení

Vyhodnocování stavu a průhybu

Hodnocení stávající CB vozovky – zda se jedná o prostou desku, vyztuženou nebo spojitě vyztuženou – se provádí na základě průhybu a množství a druhu trhlin. Průhyb a posouzení stavu by měly být korelovány pro získání spolehlivého výsledku. Základem je rozdělení do více tříd podle různého stavu vozovek. Tato kapitola umožňuje v rámci návrhu zařadit překrytí a úpravu stávajících CB vozovek do tříd.

Faktory návrhu překrytí

Postup návrhu překrytí uveden v tomto manuálu zdůrazňuje identifikaci a opravu poškozené oblasti před samotným překrytím.

- nadměrné deformace (vertikální/horizontální pohyb),
- nadměrný horizontální pohyb (deska se smršťuje od kolísání teplot),
- rozdílné deformace na spárách a trhlinách v důsledku ztráty přenosu zatížení,
- vlhkost na spárách a trhlinách.

Pokud se nepovede oprava CB krytu, bude následovat vznik trhlin a další zhoršení na překryvných vrstvách.

Klasickým problémem jsou reflexní trhliny, které vznikají po překrytí. Tento jev může být minimalizován vhodnou úpravou vozovky.

Hlavní příčinou trhliny v překryvných vrstvách jsou horizontální síly, které vznikají teplotním smršťováním a rozpínáním. Za vertikálními rozdíly průhybu stojí podloží CB desky. Kritičtější je vertikální pohyb, který se projevuje rychleji než smršťování a rozpínání.

Tření způsobené smršťováním a rozpínáním CB desek není uvažováno v návrhu. Třecí síly mezi překrytím a jeho podkladem mohou zpomalit smršťování a rozpínání. Tam, kde se vyskytuje volná voda pod deskou a sklonové deformace desky sníží tření alespoň pro krátké desky, třecí síly mohou být zanedbány. Rozsah horizontálního napětí radikálně roste na severní polokouli mezi nejteplejšími a nejchladnějšími měsíci. Teplý/chladný a mokrá/suchý cyklus umožňují období relaxace napětí během tohoto dlouhého intervalu pohybu.

Hlavním zájmem je rozdíl mezi naměřeným průhybem po obou stranách každé spáry nebo trhliny. Průhyb by měl být na obou stranách spáry nebo trhliny stejný, aby se překrytí chovalo jednotně. Velmi rozdílné průhyby mohou brzo vyvolat reflexní trhliny. Cílem přípravy vozovek pro překrytí by tedy měla být minimalizace rozdílných průhybů mezi deskami a snaha o jednotné průhyby sousedících částí. Toho je docíleno technikou lámaných desek, odstraněním a výměnou desek, podkladní vrstvy a provedení drenážního systému.

Alternativy překrytí

Dostupné alternativy:

1. položení silné vrstvy překrytí,
2. popraskání (porušení) a válcování CB desky na menší části,
3. rozdrčení CB vrstvy,
4. položení kompenzační vrstvy s drenážním systémem,
5. prořez a těsnění překryvu.

Již bylo použito mnoho speciálních produktů a ošetření ve snaze zpomalit nebo eliminovat poškození asfaltového překrytí CB vozovky. V mnoha případech byl cíl splněn, avšak ve většině případů nebyla očekávání naplněna. Asphalt Institut rozhodně doporučuje možnost 2 a 3. Pokud jsou CB desky ve vyhovujícím stavu, pak možnost 5 je správnou volbou.

Odhalení dutin

Nedestruktivní zkoušky mohou být také použity k odhalení dutin pod CB deskami a k posouzení, zda by měla být provedena podkladní vrstva nebo navržena technika lámání desek před překrytím. *1993 AASHTO Guide for Design of Pavement Structures* uvádí následující 3 metody pro odhalení dutin:

- profil průhybu rohu,
- analýza průhybu rohu,
- odhad velikosti dutiny.

V tomto manuálu je prezentována každá metoda, ale čtenář je odkázán nahlédnout pro více informací do *AASHTO Design Guide*.

První metoda zahrnuje vykreslení průhybu rohu od stálého nedestruktivního zkoušení. Průhyb rohu (nebo ztuhlost) se vykreslí pro srovnání společně pro všechny rohy. Jsou vyhodnocovány rozdíly průhybů a nadměrně velké průhyby (pro desky, podkladní vrstvu a lámané desky).

Druhá metoda používá měření průhybů na 3 úrovních zatížení (6, 9 a 12 kip pro FWD nebo 3, 5 a 7 kip pro Road Rater) pomocí vztahu: zatížení – průhyb pro každé testovací místo. Výsledkem je vykreslení průhybu. Tato technika nalezne desky s případnými dutinami, proto může být použita při lámání desek.

Třetí metoda slouží pro přibližný odhad místa dutiny. Používá se zatížení 5 kip a průhyb se měří ve středu desky, na rohu desky a přenos zatížení na příčné spáře.

Analýza průhybu spojitě vyztužené desky

Provede se nedestruktivní zkoušení. V závislosti na stavu vozovky a ekonomické analýzy se provede rozdrčení. Je třeba odstranit výztuž rozdrčené vozovky před překrytím. Vzhledem k přítomnosti výztuže není vhodná metoda popraskání a válcování.

4 Praktická část

4.1 Vysvětlení používaných pojmů:

- **Rázové zařízení (Obr. 20)** – zařízení, které je schopné měřit odezvu (průhyb) na dynamické zatížení, pomocí výpočtového programu se vypočítají moduly pružnosti vrstev a podloží. CB kryty jsou velmi tuhé, proto se používá zatížení 150 kN. Jako příklad lze uvést zařízení:

FWD: FWD/HWD Grontmij-CarlBro-PRI-2100/3000

Zatěžovací síla: 150 kN, popřípadě postupná sekvence 110 – 130 - 150 kN

Zatěžovací deska: segmentovaná $d = 30$ cm

Pryžové nárazníky: 8xHARD 75Shore

Počet zatěžovacích řad: 10

Výška pádu: 350 mm resp. postupná sekvence 200 – 260 – 350 mm



Obr. 20 Deflektometr FWD, PRIMAX 3000

- **ISM [Impulse Stiffness Modulus]** - tuhost konstrukce jako celku, $ISM [kN/mm] = \frac{\text{síla} [kN]}{Y1 [\mu m]}$; kde Y1 je snímač na hlavní lati (**Obr. 21**) rázového zařízení.



Obr. 21 Hlavní lať rázového zařízení

- **Teplotní gradient/spád** je důležitým faktorem při provádění měření únosnosti na CB površích. Po dobu provádění měření musí vyhovovat požadavku normy ČSN 73 6192 *Rázové zatěžovací zkoušky vozovek a podloží* [15]. ($|\Delta t| \leq 0,013 \text{ } ^\circ\text{C}$ tj. změna $\pm 1,3 \text{ } ^\circ\text{C}/100 \text{ mm}$).

Teplotní gradient na deskách nerozrušených segmentací byl záporný (spodní líc CB desky měl vyšší teplotu než povrch (**Obr. 22**)).



Obr. 22 CB deska za nízkých teplot

Teplotní gradient na segmentovaných deskách byl kladný (povrch CB desky měl vyšší teplotu než spodní líc (**Obr. 23**)). Případné boulení desek v daném případě bylo eliminováno segmentací s následným dohutněním válce.



Obr. 23 CB deska za vysokých teplot

Teploty CB byly odečítány v intervalu 5 min a byly měřeny automatickou měřicí stanicí se čtyřmi snímači osazenými v následujících místech:

1. 10 mm pod povrchem
2. 50 mm pod povrchem
3. 120 mm pod povrchem (1/2 tloušťky CB desky)
4. 240 mm pod povrchem (spodní líc CB desky)

- **Gilotina** Davon RBA 6500 – rázové zařízení k narušení CB desek



Obr. 24 Gilotina Davon RBA 6500

- **Segmentační krok** gilotiny zvolen 0,4 m (úsek A); 0,8 m (úsek B); 1,2 m (úsek C).



Obr. 25 Segmentační krok

4.2 Postup měření a vyhodnocení dat ke zjištění optimálního segmentačního kroku

Změření teploty ve 4 hloubkách CB desky:



Obr. 26 Teploměr

Měření únosnosti v pomalém a rychlém pruhu na středech a na krajích desek (před segmentací):



Obr. 27 Měření únosnosti

Údery gilotiny po krocích 0,4 m; 0,8 m a 1,2 m:



Obr. 28 Údery gilotinou

Prořezání příčných a podélných spár (na D1 neprováděno, neboť spáry nejsou kotveny):



Obr. 29 Přerezáání výztuže kotoučovou pilou

Pojezdy pneumatikým válcem AMMANN AP240H (25 tun):



Obr. 30 Pneumatikový válec AMMANN AP240H [25]

Poté proběhne opět měření únosnosti v pomalém a rychlém pruhy na středech a na krajích desek (po segmentaci). Vypočítá se změna parametru ISM. Pokles parametru ISM je nutné chápat ne jako úbytek původní hodnoty, ale jako procentuální část původní hodnoty před segmentací, která je považována za 100 %. Výše zmíněnou teorií je eliminována chyba vyplývající z nehomogenity parametrů ISM na jednotlivých úsecích A – B – C.

Segmentace provedená gilotinou zachovává částečně spolupůsobení mezi jednotlivými segmenty CB krytu. Takto bylo možné spočítat také moduly pružnosti konstrukce vozovky a podloží po provedení segmentace.

Výpočet byl proveden programem RoSy® Design 10.0.18.

Moduly pružnosti byly spočítány pro následující vrstvy na D11:

- **Dobřenický zářez 2011 (DZ11), Dobřenický zářez 2012 (DZ12) a Kinského zářez 2012 (KZ12)**

1. vrstva	CB deska	s tloušťkou 250 mm
2. vrstva	podkladní vrstva z KSC	s tloušťkou 180 mm
3. vrstva	šterkopísek ŠP	s tloušťkou 280 mm
4. vrstva	podloží	

Moduly pružnosti byly spočítány pro následující vrstvy na D1:

- **Rousínov – Vyškov 2012 (RV12)**

1. vrstva	CB deska	s tloušťkou 240 mm
2. vrstva	vyrovnávací vrstva AB	s tloušťkou 40 mm
3. vrstva	stabilizace cementem CS	s tloušťkou 200 mm
4. vrstva	šterkodrt' ŠD	s tloušťkou 250 mm
5. vrstva	podloží	

4.3 Prováděná měření:

4.3.1 Měření únosnosti na testovacích úsecích dálnice D11 – DZ11

Účinek segmentace byl zkoušen ve třech lokalitách. Jednalo se o měření na dálnici D11 u Dobřenického zářezu (dále jen DZ11) směrem na Prahu probíhající ve dnech 20.9.2011 – 21.9.2011. Ve stejné lokalitě, avšak ve směru na Hradec Králové 16.4.2012 v Dobřenickém zářezu (dále jen DZ12) a 17.4.2012 v zářezu Kinského (dále jen KZ12).



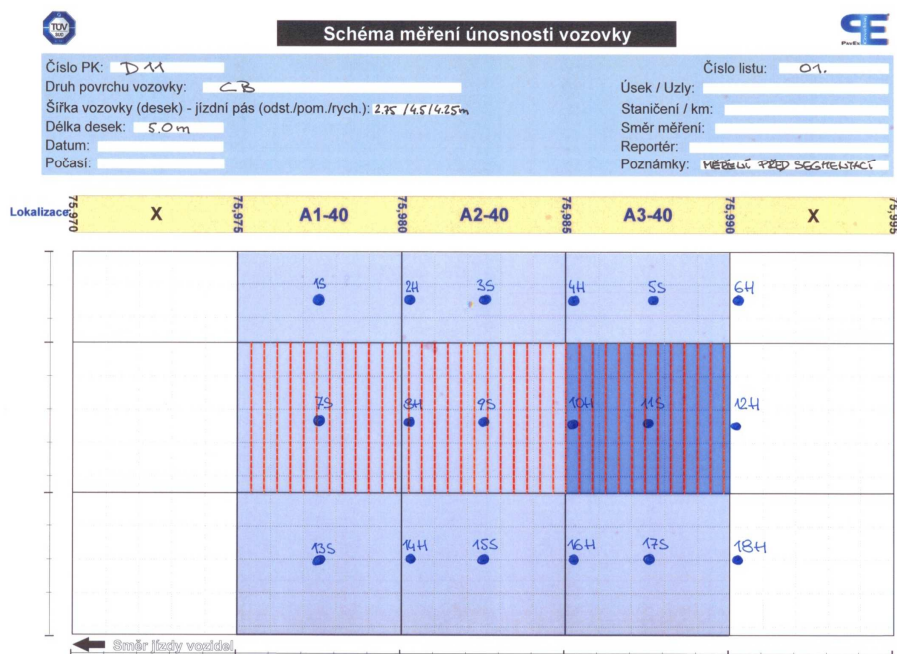
Obr. 31 Měření na dálnici D11, zářez Dobřenický a Kinského [26]

Měření únosnosti proběhlo na testovacích úsecích A – B – C ve směru na Prahu. Tyto úseky byly dopředu vybrány a naznačeny na povrchu vozovky.

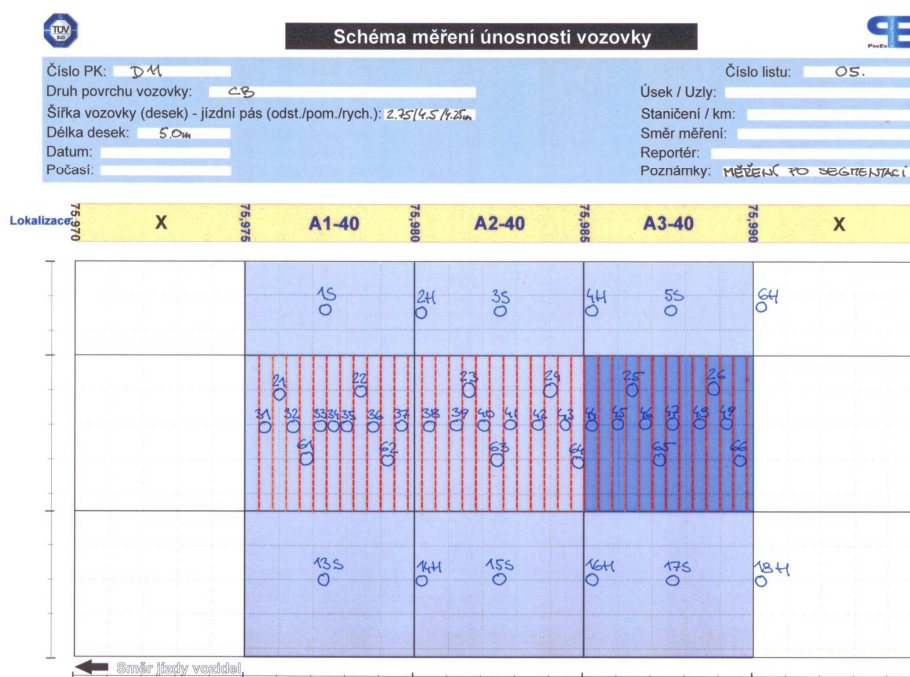
Úsek A (km 75,975 – 75,990)

měření 1: měření na středech desek 4,5 x 5,0 m

měření 2: měření uvnitř segmentů 40 cm



Obr. 32 DZ11, úsek A, schéma měřených bodů před segmentací

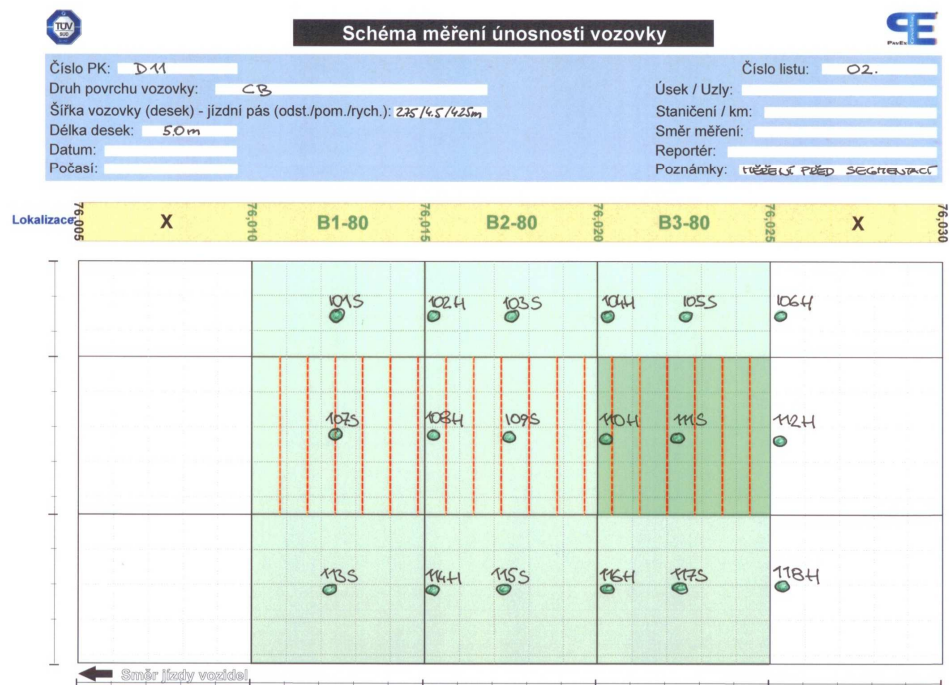


Obr. 33 DZ11, úsek A, schéma měřených bodů po segmentaci

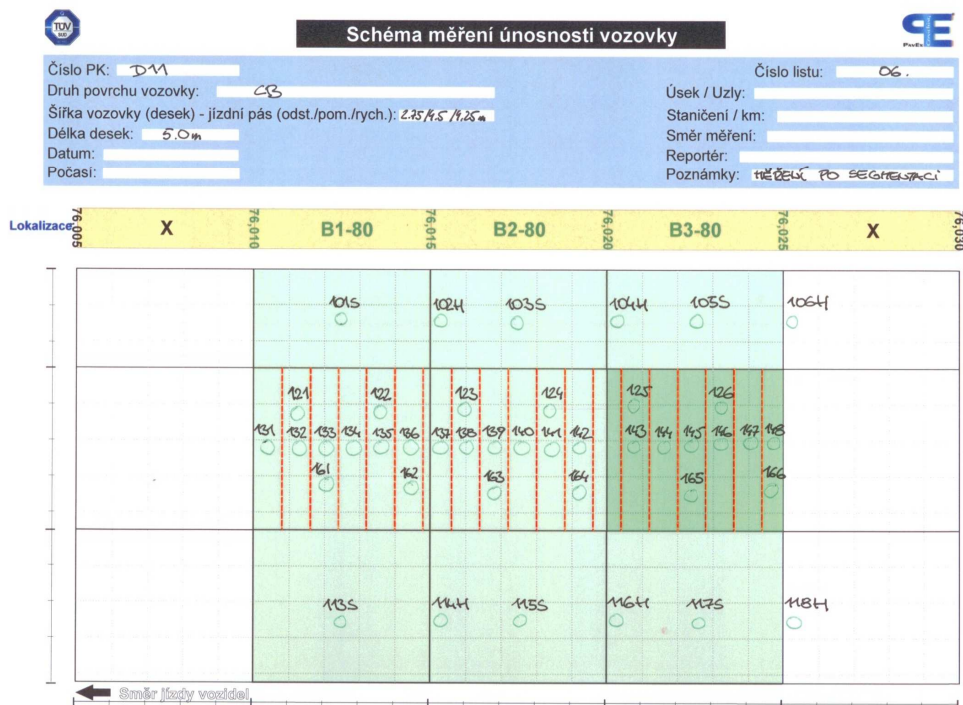
Úsek B (km 76,010 – 76,025)

měření 1: měření na středech desek 4,5 x 5,0 m

měření 2: měření uvnitř segmentů 80 cm



Obr. 34 DZ11, úsek B, schéma měřených bodů před segmentací

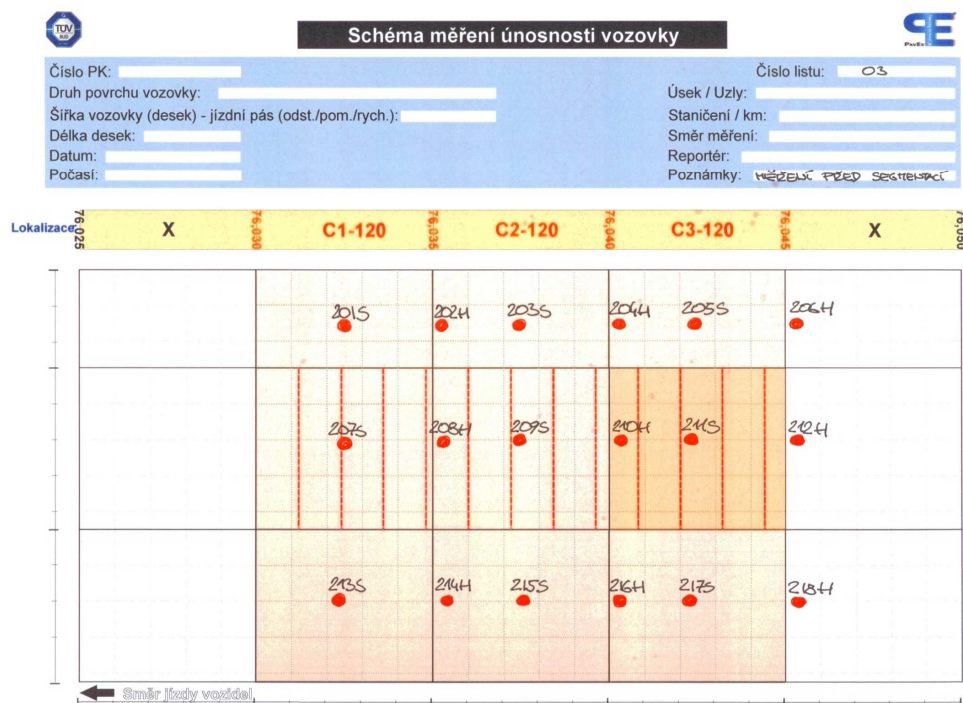


Obr. 35 DZ11, úsek B, schéma měřených bodů po segmentaci

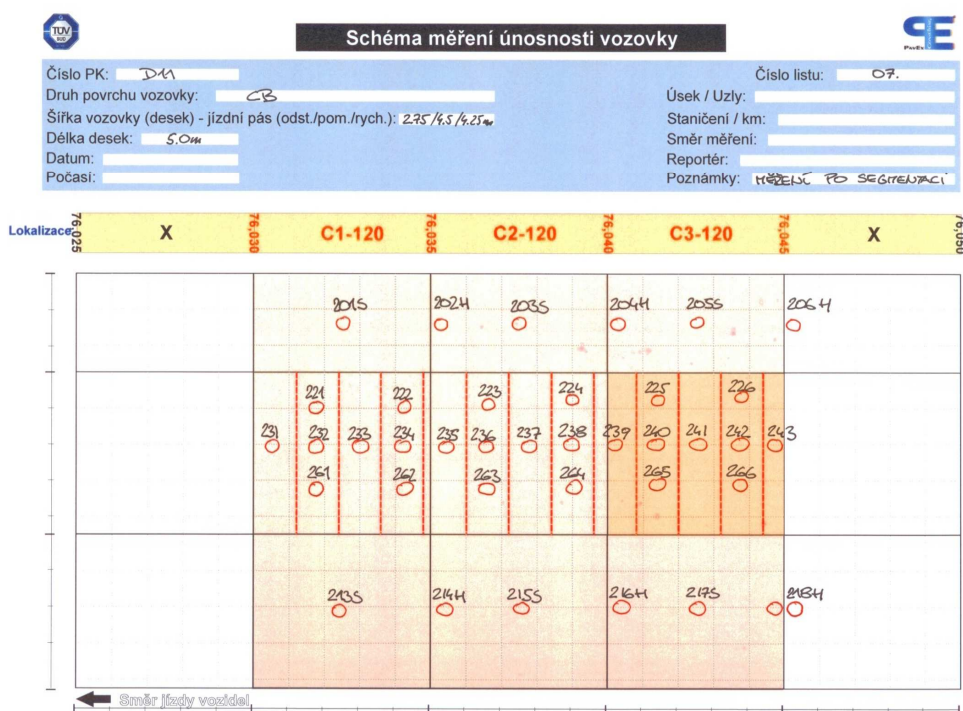
Úsek C (km 76,030 – 76,0425)

měření 1: měření na středech desek 4,5 x 5,0 m

měření 2: měření uvnitř segmentů 120 cm



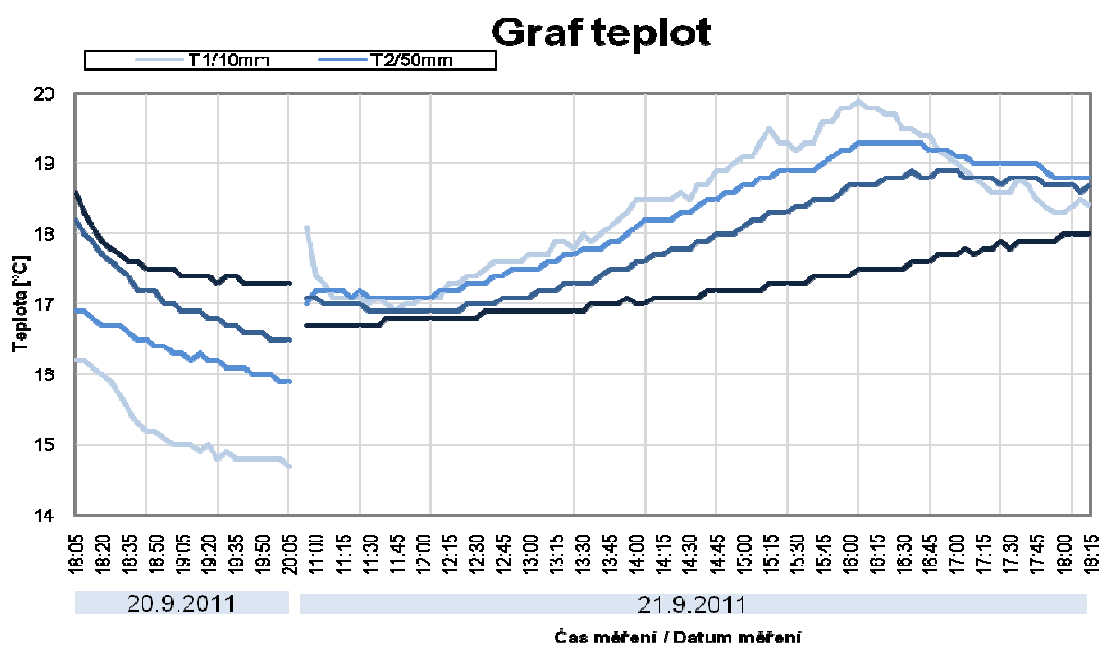
Obr. 36 DZ11, úsek C, schéma měřených bodů před segmentací



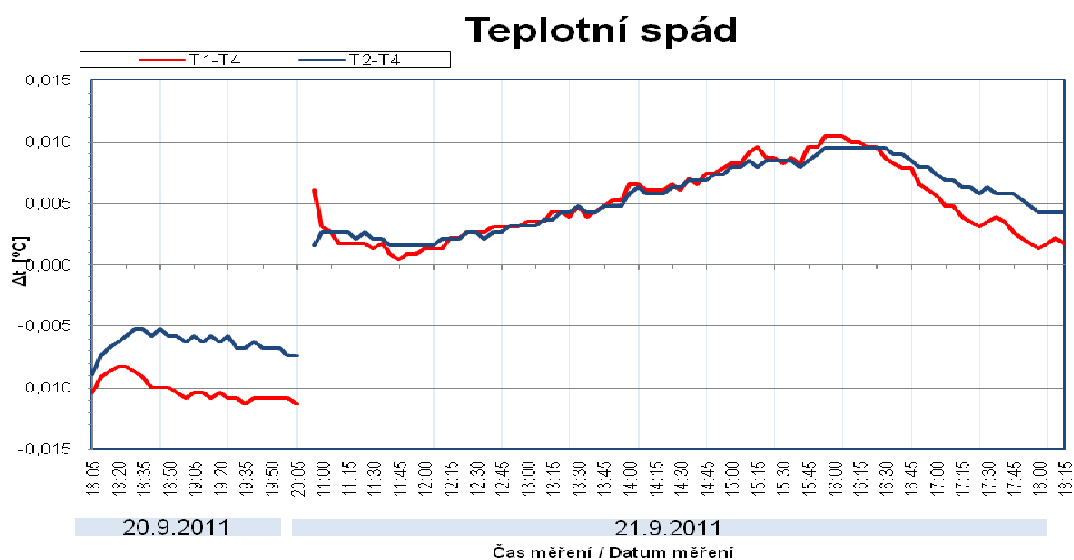
Obr. 37 DZ11, úsek C, schéma měřených bodů po segmentaci

Počasí:

Zataženo, sucho, bezvětrí. Teplota vzduchu + 15 °C až + 20 °C.



Obr. 38 DZ11, graf teplot

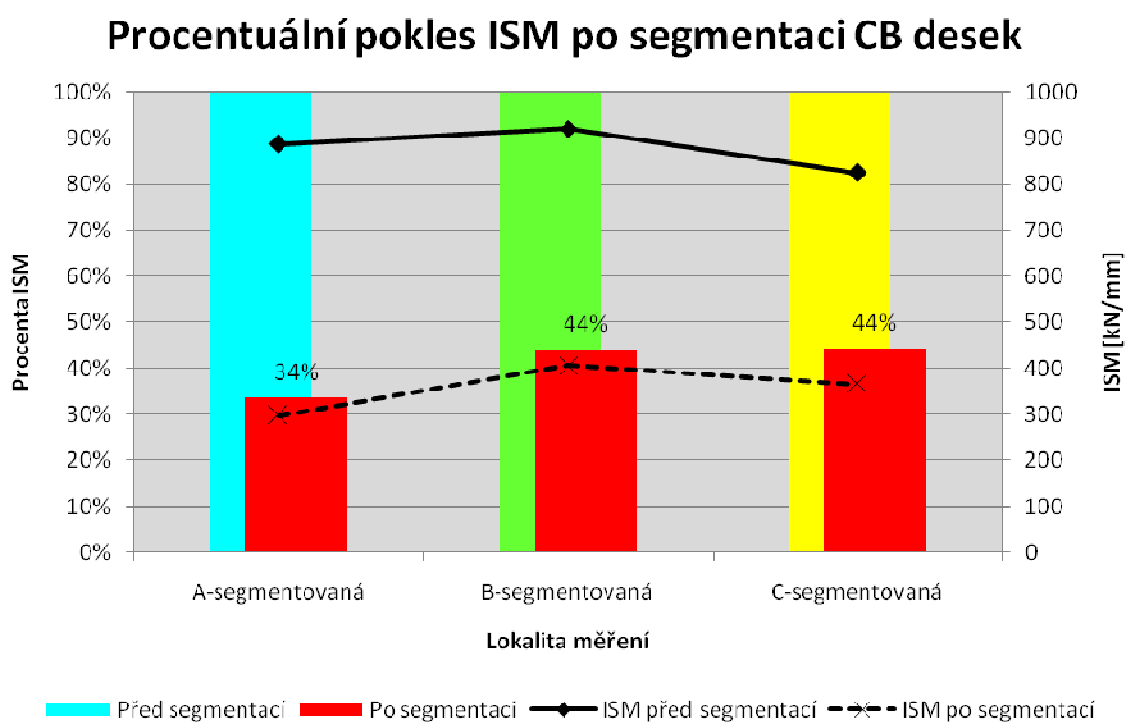


Obr. 39 DZ11, teplotní spád

Změny parametru ISM jsou vyjádřeny v následující **Tab. 17** a grafu **Obr. 40**.

Tab. 17 DZ11, pokles celkové tuhosti konstrukce vyjádřené modulem ISM

		A-segmentovaná	B-segmentovaná	C-segmentovaná
	Jízdní pruh	pomalý	pomalý	pomalý
ISM [kN/mm]	Před segmentací	888	920	825
	Po segmentaci	298	406	365
	Pokles na	34%	44%	44%



Obr. 40 DZ11, pokles celkové tuhosti konstrukce vyjádřené modulem ISM

Níže jsou uvedeny průměrné hodnoty modulů pružnosti na úsecích A – B – C vycházející z měřených míst v pomalém jízdním pruhu před provedením segmentace a po provedení segmentace. Závěry vycházející z průměrných hodnot je možné odečíst z následujících **Tab. 18, 19, 20** a grafu **Obr. 41**.

Modul pružnosti CB krytu je značen jako E1, podkladní vrstvy E2, nestmelené podkladní vrstvy E3 a modul pružnosti podloží Epod.

Tab. 18 DZ11, segment po 40 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu

ÚSEK 1		E1	E2	E3	Epod
Jízdní pruh		pomalý			
Před segmentací [MPa]		35 638	1 952	758	341
Po segmentaci [MPa]		10 131	622	333	160
Změna	[MPa]	-25 508	-1 330	-425	-181
	%	28%	32%	44%	47%

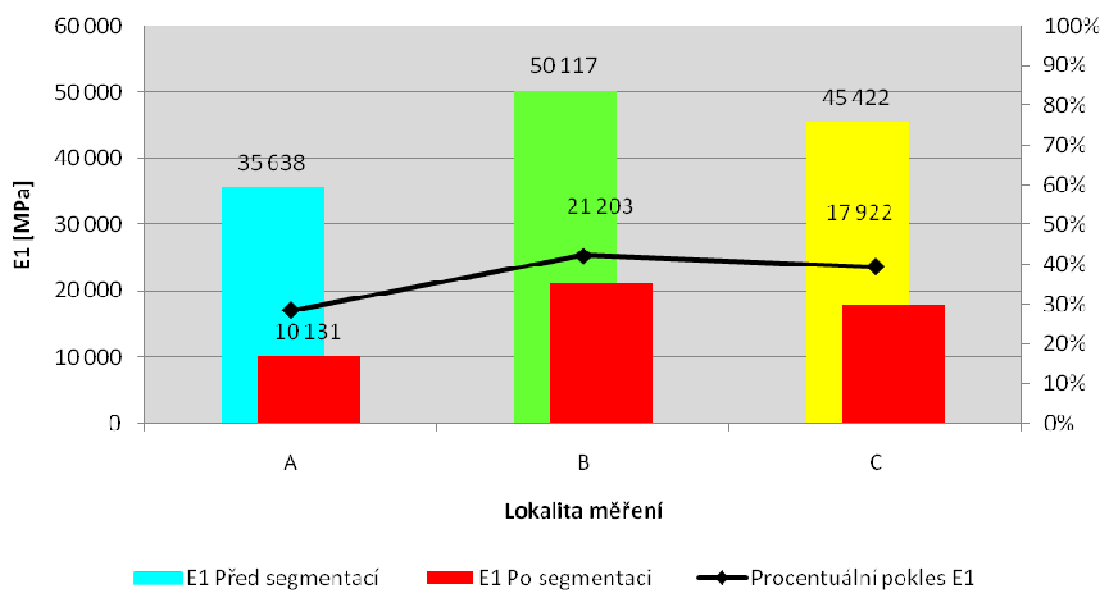
Tab. 19 DZ11, segment po 80 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu

ÚSEK 2		E1	E2	E3	Epod
Jízdní pruh		pomalý			
Před segmentací [MPa]		50 117	2 983	1 192	322
Po segmentaci [MPa]		21 203	1 137	522	179
Změna	[MPa]	-28 914	-1 847	-670	-143
	%	42%	38%	44%	56%

Tab. 20 DZ11, segment po 120 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu

ÚSEK 3		E1	E2	E3	Epod
Jízdní pruh		pomalý			
Před segmentací [MPa]		45 422	2 760	1 110	301
Po segmentaci [MPa]		17 922	1 160	493	144
Změna	[MPa]	-27 500	-1 600	-617	-157
	%	39%	42%	44%	48%

Procentuální pokles modulů pružnosti CB krytu po segmentaci



Obr. 41 DZ11, procentuální pokles modulů pružnosti CB krytu po segmentaci

Závěr

Při segmentačním kroku 0,4 m došlo k poklesu ISM na 34 %, při 0,8 m na 44 % původní hodnoty a při 1,2 m na 44 %. Z toho lze usuzovat krok 0,8 m jako neoptimálnější, neboť hrozí nejmenší nebezpečí prokopírování reflexních trhlin s relativně vysokou únosností po segmentaci.

4.3.2 Měření únosnosti na testovacích úsecích dálnice D11 – DZ12 a KZ12

Měření únosnosti proběhlo na dvou zájmových úsecích ve směru na Hradec Králové (Dobřenický zářez a Kinského zářez). Testovací úseky (A – B – C, pro každý 9 desek) byly vybrány a naznačeny na povrchu vozovky na základě provedeného vyhledávacího měření, které eliminovalo nehomogenitu odezvy konstrukce na zatížení.

- **DZ12**

Proběhlo proříznutí desek mezi úseky A – B – C.

úsek A – Dobřenický zářez – 40 cm

	13 x	14	15 x	16	17 x	18	pruh rychlý
	7 x S	8	9 x S	10	11 x S	12	pruh pomalý
	D1	40	D2	40	D3	40	pruh odstavný

Obr. 42 DZ12, úsek A, schéma měřených bodů před a po segmentaci

úsek B – Dobřenický zářez – 80 cm

	113 x	114	115 x	116	117 x	118	pruh rychlý
	107 x S	108	109 x S	110	111 x S	112	pruh pomalý
	D4	80	D5	80	D6	80	pruh odstavný

Obr. 43 DZ12, úsek B, schéma měřených bodů před a po segmentaci

úsek C – Dobřenický zářez – 120 cm

	213 x	214 x	215 x	216 x	217 x	218 x	pruh rychlý
	207 x S	208 x S	209 x S	210 x S	211 x S	212 x S	pruh pomalý
	D7	120	D8	120	D9	120	pruh odstavný

Obr. 44 DZ12, úsek C, schéma měřených bodů před a po segmentaci

V **Tab. 21** je uveden pokles celkové tuhosti konstrukce vyjádřené modulem ISM, který je vztažen k 100 % hodnotě tuhosti před segmentací.

Tab. 21 DZ12, pokles celkové tuhosti konstrukce vyjádřené modulem ISM

Lokalita D11	Segment 40cm	Segment 80cm	Segment 120cm
Dobřenice-bez ořezu	ISM 689>>263 38%	ISM 646>>306 47%	ISM 648>>345 54%

Níže jsou uvedeny průměrné hodnoty modulů pružnosti na úsecích A – B – C vycházející z měřených míst v pomalém jízdním pruhu před provedením segmentace a po provedení segmentace. Závěry vycházející z průměrných hodnot je možné odečíst z následujících **Tab. 22, 23, 24** a grafu **Obr. 45**.

Tab. 22 DZ12, segment po 40 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu

ÚSEK 1		E1	E2	E3	Epod
Jízdní pruh		pomalý			
Před segmentací [MPa]		29 445	2 606	532	249
Po segmentaci [MPa]		4 529	718	1 958	139
Změna	[MPa]	-24 916	-1 888	1 425	-110
	%	15%	28%	368%	56%

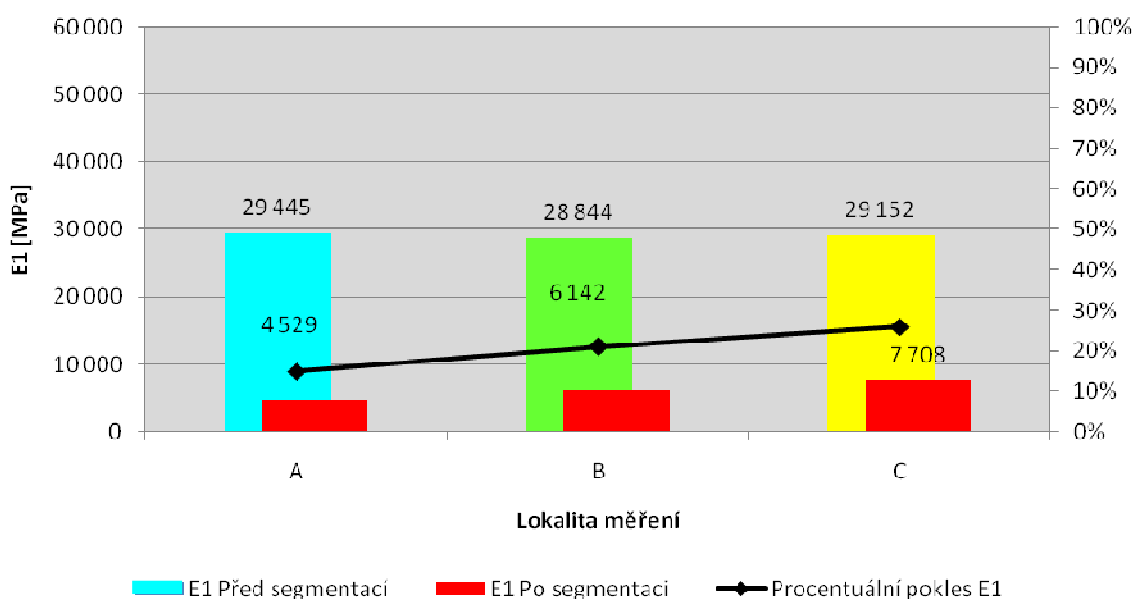
Tab. 23 DZ12, segment po 80 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu

ÚSEK 2		E1	E2	E3	Epod
Jízdní pruh		pomalý			
Před segmentací [MPa]		28 844	2 806	955	217
Po segmentaci [MPa]		6 142	718	2 438	152
Změna	[MPa]	-22 702	-2 088	1 483	-64
	%	21%	26%	255%	70%

Tab. 24 DZ12, segment po 120 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu

ÚSEK 3		E1	E2	E3	Epod
Jízdní pruh		pomalý			
Před segmentací [MPa]		29 152	2 800	875	219
Po segmentaci [MPa]		7 708	806	1 821	153
Změna	[MPa]	-21 444	-1 994	946	-66
	%	26%	29%	208%	70%

Procentuální pokles modulů pružnosti CB krytu po segmentaci



Obr. 45 DZ12, procentuální pokles modulů pružnosti CB krytu po segmentaci

- **KZ12**

Zde desky mezi úseky A – B – C nebyly proříznuty.

úsek A – Kinského zářez – 40 cm

	13 x	14 x	15 x	16 x	17 x	18 x	pruh rychlý
	7 x S	8 x	9 x S	10 x	11 x S	12 x	pruh pomalý
	K1	40	K2	40	K3	40	pruh odstavný

Obr. 46 KZ12, úsek A, schéma měřených bodů před a po segmentaci

úsek B – Kinského zářez – 80 cm

	113 x	114 x	115 x	116 x	117 x	118 x	pruh rychlý
	107 x S	108 x	109 x S	110 x	111 x S	112 x	pruh pomalý
	K4	80	K5	80	K6	80	pruh odstavný

Obr. 47 KZ12, úsek B, schéma měřených bodů před a po segmentaci

úsek C – Kinského zářez – 120 cm

	213 x	214 x	215 x	216 x	217 x	218 x	pruh rychlý
	207 x S	208 x	209 x S	210 x	211 x S	212 x	pruh pomalý
	K7	120	K8	120	K9	120	pruh odstavný

Obr. 48 KZ12, úsek C, schéma měřených bodů před a po segmentaci

V **Tab. 25** je uveden pokles celkové tuhosti konstrukce vyjádřené modulem ISM, který je vztažen k 100 % hodnotě tuhosti před segmentací.

Tab. 25 KZ12, pokles celkové tuhosti konstrukce vyjádřené modulem ISM

Lokalita	Segment 40cm	Segment 80cm	Segment 120cm
Kinský-bez ořezu	31%	40%	44%

Níže jsou uvedeny průměrné hodnoty modulů pružnosti na úsecích A – B – C vycházející z měřených míst v pomalém jízdním pruhu před provedením segmentace a po provedení segmentace. Závěry vycházející z průměrných hodnot je možné odečíst z následujících **Tab. 26, 27, 28** a grafu **Obr. 49**.

Tab. 26 KZ12, segment po 40 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu

ÚSEK 1		E1	E2	E3	Epod
Jízdní pruh		pomalý			
Před segmentací [MPa]		39 199	1 870	418	266
Po segmentaci [MPa]		4 240	758	3 808	102
Změna	[MPa]	-34 958	-1 113	3 390	-164
	%	11%	41%	910%	38%

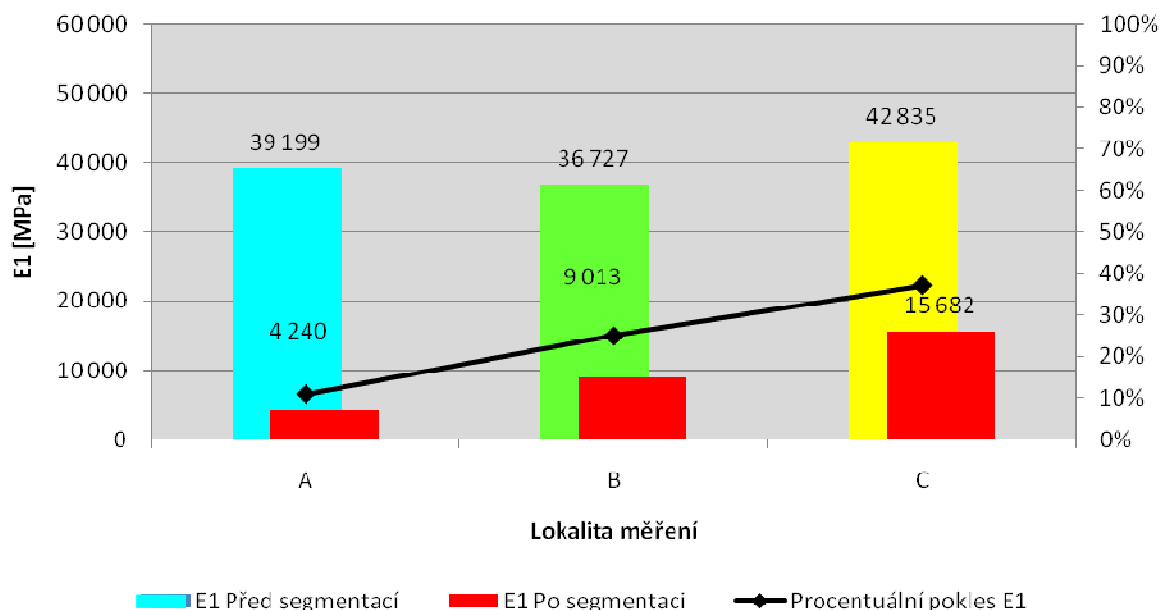
Tab. 27 KZ12, segment po 80 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu

ÚSEK 2		E1	E2	E3	Epod
Jízdní pruh		pomalý			
Před segmentací [MPa]		36 727	2 064	489	263
Po segmentaci [MPa]		9 013	758	1 446	124
Změna	[MPa]	-27 714	-1 306	956	-139
	%	25%	37%	295%	47%

Tab. 28 KZ12, segment po 120 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu

ÚSEK 3		E1	E2	E3	Epod
Jízdní pruh		pomalý			
Před segmentací [MPa]		42 835	2 390	467	265
Po segmentaci [MPa]		15 682	1 063	2 072	129
Změna	[MPa]	-27 153	-1 326	1 605	-136
	%	37%	45%	444%	49%

Procentuální pokles modulů pružnosti CB krytu po segmentaci



Obr. 49 KZ12, procentuální pokles modulů pružnosti CB krytu po segmentaci

Závěr

V DZ12 ISM kleslo při segmentačním kroku 0,4 m na 38 %, při 0,8 m na 47 % původní hodnoty a při 1,2 m na 54 %.

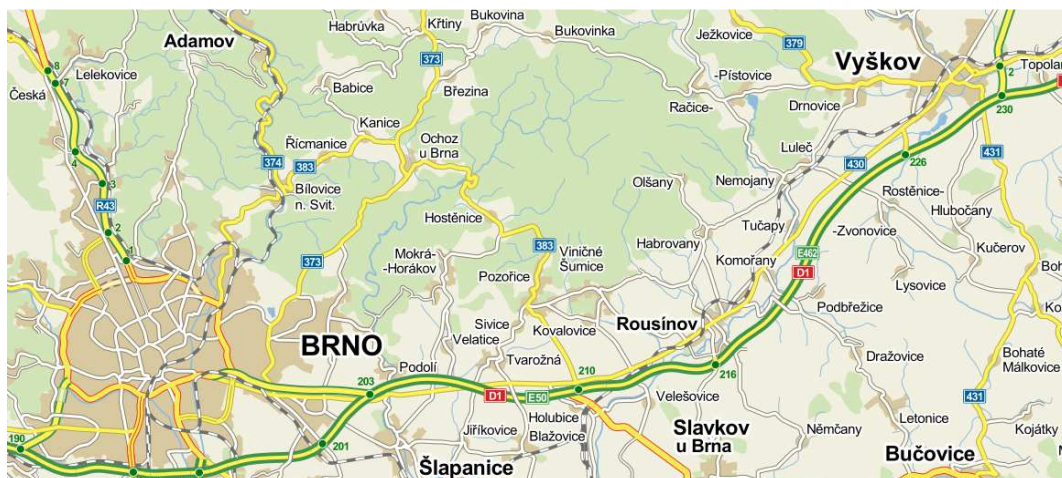
V KZ12 ISM kleslo při segmentačním kroku 0,4 m na 31 %, při 0,8 m na 40 % původní hodnoty a při 1,2 m na 44 %.

Vliv oříznutí desek před segmentací má minimální vliv na pokles tuhosti.

Dle manuálu *Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation* [8] se má modul pružnosti CB krytu po segmentaci a uválcování pohybovat v intervalu 3 500 – 7 000 MPa, z toho vyplývá pro DZ12 jako optimální krok 0,8 m. Pro KZ12 by se získal interpolací optimální krok cca 0,6 m.

4.3.3 Měření únosnosti na testovacích úsecích dálnice D1 – RV12

Další měření bylo provedeno 2.7.2012 na dálnici D1 na úseku Rousínov – Vyškov (dále RV12) v lokalitě km 226.



Obr. 50 Měření na D1, Rousínov – Vyškov [27]

Vozovka v této lokalitě je bez ztužujících kotev a trnů. Příčné spáry jsou šikmé (15°).

V **Tab. 29** je uveden pokles celkové tuhosti konstrukce vyjádřené modulem ISM, který je vztažen k 100 % hodnotě tuhosti před segmentací.

Tab. 29 RV12, pokles celkové tuhosti konstrukce vyjádřené modulem ISM

Lokalita D1	Segment 40cm	Segment 80cm	Segment 120cm
D1	ISM 478>>239 50%	ISM 469>>272 58%	ISM 412>>248 60%

Níže jsou uvedeny průměrné hodnoty modulů pružnosti na úsecích A – B – C vycházející z měřených míst v pomalém jízdním pruhu před provedením segmentace a po provedení segmentace. Závěry vycházející z průměrných hodnot je možné odečíst z následujících **Tab. 30, 31, 32** a grafu **Obr. 51**.

Tab. 30 RV12, segment po 40 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu

ÚSEK 1		E1	E2	E3	E _{pod}
Jízdní pruh		pomalý			
Před segmentací [MPa]		30 131	1 535	534	194
Po segmentaci [MPa]		19 904	1 373	1 185	105
Změna	[MPa]	-10 226	-161	652	-90
	%	66%	89%	222%	54%

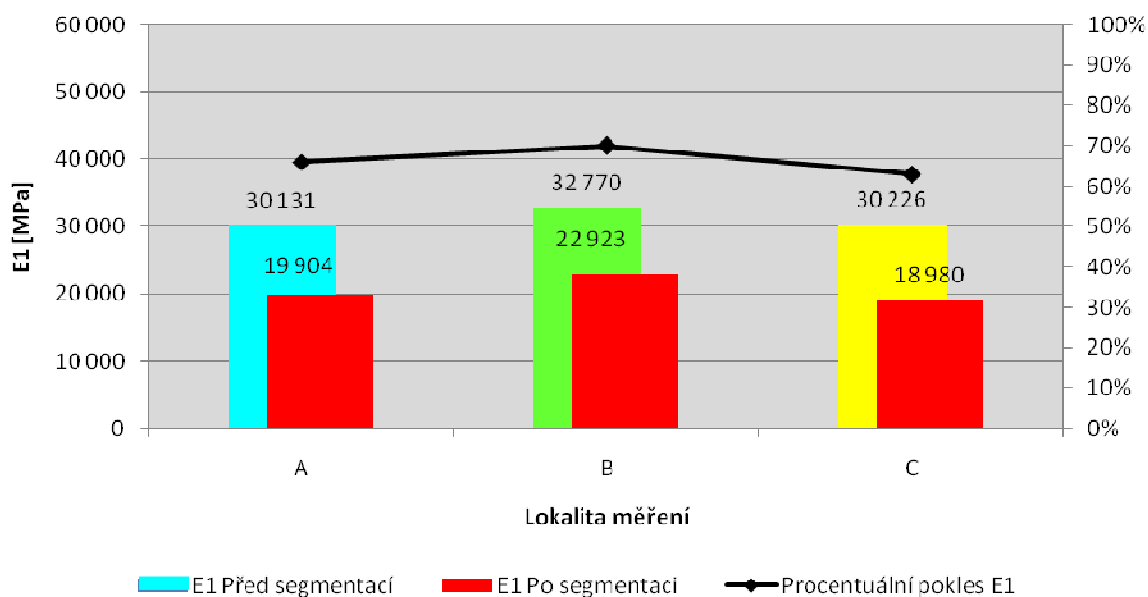
Tab. 31 RV12, segment po 80 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu

ÚSEK 2		E1	E2	E3	Epod
Jízdní pruh		pomalý			
Před segmentací [MPa]		32 770	1 553	543	200
Po segmentaci [MPa]		22 923	1 373	1 448	119
Změna	[MPa]	-9 847	-180	905	-80
	%	70%	88%	267%	60%

Tab. 32 RV12, segment po 120 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu

ÚSEK 3		E1	E2	E3	Epod
Jízdní pruh		pomalý			
Před segmentací [MPa]		30 226	2 464	1 042	155
Po segmentaci [MPa]		18 980	1 385	1 746	115
Změna	[MPa]	-11 246	-1 079	703	-40
	%	63%	56%	167%	74%

Procentuální pokles modulů pružnosti CB krytu po segmentaci



Obr. 51 RV12, procentuální pokles modulů pružnosti CB krytu po segmentaci

Závěr

V RV12 ISM kleslo při segmentačním kroku 0,4 m na 50 %, při 0,8 m na 58 % původní hodnoty a při 1,2 m na 60 %. Z toho lze usuzovat krok 0,8 m jako nejoptimálnější, neboť hrozí nejmenší nebezpečí prokopírování reflexních trhlin s relativně vysokou únosností po segmentaci.

4.4 Dimenzování zesílení na segmentovaných úsecích

Dimenzování zesílení bylo navrženo dle programu Overlay Design.

Požadované vstupy do programu Overlay Design jsou:

- stanovení dopravního zatížení, přepočet TNV na Nc (10 t) a Nc (8,6 t),
- zjištění minimální, maximální a průměrné teploty pro danou lokalitu,
- tloušťky a moduly pružnosti konstrukčních vrstev a modul pružnosti podloží,
- dovolené procento porušení vozovky po 15 letech.

4.4.1 Stanovení dopravního zatížení dle sčítání dopravy 2010

Zatížení běžným silničním provozem

$$TNV_0 = 0,1 * LN + 0,9 * SN + 1,9 * SNP + TN + 2,0 * TNP + 2,3 * NSN + A + AK$$

TNV_0 - průměrná denní intenzita provozu všech těžkých nákladních vozidel v roce sčítání dopravy [voz/den]

LN - lehká nákladní vozidla (užitečná hm. do 3,5 t) bez přívěsů i s přívěsy

SN - střední nákladní vozidla (užitečná hm. 3,5 - 10 t) bez přívěsů

SNP - střední nákladní vozidla (užitečná hm. 3,5 - 10 t) s přívěsy

TN - těžká nákladní vozidla (užitečná hm. nad 10 t) bez přívěsů

TNP - těžká nákladní vozidla (užitečná hm. nad 10 t) s přívěsy

NSN - návěsové soupravy nákladních vozidel

A - autobusy

AK - autobusy kloubové

- Výpočet dopravního zatížení pro DZ12 a KZ12:

D11; úsek 5-8390

LN =	1 502 [voz/den]	TNP =	62 [voz/den]
SN =	449 [voz/den]	NSN =	603 [voz/den]
SNP =	58 [voz/den]	A =	89 [voz/den]
TN =	83 [voz/den]	AK =	0 [voz/den]

$$TNV_0 = 0,1 * 1\,502 + 0,9 * 449 + 1,9 * 58 + 83 + 2,0 * 62 + 2,3 * 603 + 89 + 0$$

$$TNV_0 = \underline{2\,347,4 \text{ [voz/den]}}$$

$$TNV_K = 0,5 * (\delta_Z + \delta_K) * TNV_0 = 0,5 * (1,0609 + 1,9161) * 2\,347,4$$

$$\delta_Z = (1 + 0,01 * m)^{t_Z} = (1 + 0,01 * 3)^2 = 1,0609$$

$$\delta_K = (1 + 0,01 * m)^{t_K} = (1 + 0,01 * 3)^{22} = 1,9161$$

$m = 3 \%$ (dálnice, rychlostní silnice, rychlostní místní komunikace)

$$TNV_K = \underline{3\,494,1 \text{ [voz/den]}}$$

TNV_K - průměrná hodnota denní intenzity provozu TNV v (dílčím) návrhovém období [voz/den]

TNV_0 - průměrná denní intenzita provozu TNV v roce provedení dopravně-inženýrského průzkumu (sčítání dopravy) [voz/den]

δ_Z, δ_K - součinitele nárůstu intenzity provozu TNV pro roky počátku a konce (dílčího) návrhového období

$$\delta_i = (1 + 0,01 * m)^{t_i}$$

δ_i - součinitel nárůstu dopravy pro i -tý rok

m - meziroční nárůst intenzity provozu těžkých nákladních vozidel [%]

t_i - počet roků mezi rokem i -tým a rokem sčítání dopravy [roky]

$$TNV_d = c_1 * TNV_K = 0,45 * 3\,494,1$$

$c_1 = 0,45$ (obousměrná komunikace s dvěma jízdními pruhy v jednom směru)

$$TNV_d = \underline{1\,572,345 \text{ [voz/den]}}$$

TNV_d - návrhová hodnota denní intenzity provozu TNV pro nejvíce zatížený jízdní pruh [voz/den]

c_1 - součinitel vyjadřující podíl intenzity TNV na nejvíce zatíženém jízdním pruhu

TNV_K - charakteristická hodnota denní intenzity TNV pro všechny jízdné pruhy v obou směrech [voz/den]

$$TNV_{cd} = TNV_d * 365 * t_d = 1\,572,345 * 365 * 20$$

$t_d = 20$ let

$$TNV_{cd} = \underline{11\,478\,118,5}$$

- TNV_{cd} - návrhová hodnota celkového počtu přejezdů TNV za (dílčí) návrhové období [voz/návrhové období]
 TNV_d - návrhová hodnota denní intenzity TNV pro nejvíce zatížený jízdní pruh [voz/den]
 t_d - délka (dílčího) návrhového období [roky]

$$N_{cd} = c_2 * c_3 * c_4 * TNV_{cd} = 1,0 * 1,0 * 1,0 * 11\,478\,118,5$$

$$c_2 = 1,0 \text{ (D0, D1)}$$

$$c_3 = 1,0 \text{ (tuhé vozovky)}$$

$$c_4 = 1,0 \text{ (50km/h a vyšší)}$$

$$N_{cd} = \underline{11\,478\,118,5}$$

- N_{cd} - návrhová hodnota celkového počtu návrhových náprav za (dílčí) návrhové období, působící v dimenzačním průřezu vozovky, návrhových náprav
 c_2 - součinitel vyjadřující fluktuaci stop vozidel
 c_3 - součinitel spektra hmotnosti náprav
 c_4 - součinitel vyjadřující vliv rychlosti pohybu vozidel na vozovce s vrstvami z asfaltových směsí
 TNV_{cd} - návrhová hodnota celkového počtu přejezdů TNV za (dílčí) návrhové období [voz/návrhové období]

$$N_{cd} = N_{cd} * (100/86)^4 = 11\,478\,118,5 * (100/86)^4$$

$$N_{cd} = \underline{20\,983\,450,17}$$

- Výpočet dopravního zatížení pro RV12:

D1; úsek 6-8820

LN =	2 996 [voz/den]	TNP =	345 [voz/den]
SN =	1 336 [voz/den]	NSN =	2 915 [voz/den]
SNP =	324 [voz/den]	A =	220 [voz/den]
TN =	319 [voz/den]	AK =	0 [voz/den]

$$TNV_0 = 0,1 * 2\,996 + 0,9 * 1\,336 + 1,9 * 324 + 319 + 2,0 * 345 + 2,3 * 2\,915 + 220$$

$$TNV_0 = \underline{10\,051,1 \text{ [voz/den]}}$$

$$TNV_K = 0,5 * (\delta_Z + \delta_K) * TNV_0 = 0,5 * (1,0609 + 1,9161) * 10\,051,1$$

$$\delta_Z = (1 + 0,01 * m)^{t_z} = (1 + 0,01 * 3)^2 = 1,0609$$

$$\delta_K = (1 + 0,01 * m)^{t_k} = (1 + 0,01 * 3)^{22} = 1,9161$$

$m = 3 \%$ (dálnice, rychlostní silnice, rychlostní místní komunikace)

$$TNV_K = \underline{14\,961,1 \text{ [voz/den]}}$$

TNV_K - průměrná hodnota denní intenzity provozu TNV v (dílčím) návrhovém období [voz/den]

TNV_0 - průměrná denní intenzita provozu TNV v roce provedení dopravně-inženýrského průzkumu (sčítání dopravy) [voz/den]

δ_Z, δ_K - součinitele nárůstu intenzity provozu TNV pro roky počátku a konce (dílčího) návrhového období

$$\delta_i = (1 + 0,01 * m)^{t_i}$$

δ_i - součinitel nárůstu dopravy pro i -tý rok

m - meziroční nárůst intenzity provozu těžkých nákladních vozidel [%]

t_i - počet roků mezi rokem i -tým a rokem sčítání dopravy [roky]

$$TNV_d = c_1 * TNV_K = 0,45 * 14\,961,1$$

$c_1 = 0,45$ (obousměrná komunikace s dvěma jízdními pruhy v jednom směru)

$$TNV_d = \underline{6\,732,478 \text{ [voz/den]}}$$

TNV_d - návrhová hodnota denní intenzity provozu TNV pro nejvíce zatížený jízdní pruh [voz/den]

c_1 - součinitel vyjadřující podíl intenzity TNV na nejvíce zatíženém jízdním pruhu

TNV_K - charakteristická hodnota denní intenzity TNV pro všechny jízdné pruhy v obou směrech [voz/den]

$$TNV_{cd} = TNV_d * 365 * t_d = 6\,732,478 * 365 * 20$$

$t_d = 20$ let

$$TNV_{cd} = \underline{49\,147\,089,82}$$

TNV_c

d - návrhová hodnota celkového počtu přejezdů TNV za (dílčí) návrhové období [voz/návrhové období]

TNV_d - návrhová hodnota denní intenzity TNV pro nejvíce zatížený jízdní pruh [voz/den]

t_d - délka (dílčího) návrhového období [roky]

$$N_{cd} = c_2 * c_3 * c_4 * TNV_{cd} = 1,0 * 1,0 * 1,0 * 49\,147\,089,82$$

$$c_2 = 1,0 \text{ (D0, D1)}$$

$$c_3 = 1,0 \text{ (tuhé vozovky)}$$

$$c_4 = 1,0 \text{ (50km/h a vyšší)}$$

$$N_{cd} = \underline{49\,147\,089,82}$$

- N_{cd} - návrhová hodnota celkového počtu návrhových náprav za (dílčí) návrhové období, působící v dimenzačním průřezu vozovky, návrhových náprav
- c_2 - součinitel vyjadřující fluktuaci stop vozidel
- c_3 - součinitel spektra hmotnosti náprav
- c_4 - součinitel vyjadřující vliv rychlosti pohybu vozidel na vozovce s vrstvami z asfaltových směsí
- TNV_{cd} - návrhová hodnota celkového počtu přejezdů TNV za (dílčí) návrhové období [voz/návrhové období]

$$N_{cd} = N_{cd} * (100/86)^4 = 49\,147\,089,82 * (100/86)^4$$

$$N_{cd} = \underline{89\,847\,087,14}$$

4.4.2 Výpočet zesílení programem Overlay Design

Program vypočítá tloušťku zesílení pro asfaltobeton a gumoasfalt.

Pro určení tloušťky zesílení bylo uvažováno dovolené porušení vozovky po 15 letech 1, 3, 5, 7, 9 %.

Výpočet návrhu zesílení pro DZ12 a KZ12:

Modul pružnosti CB krytu a KSC byl uvažován po segmentaci, modul pružnosti šterkopísku a podloží před segmentací. E2 je průměr modulu pružnosti KSC a ŠP.

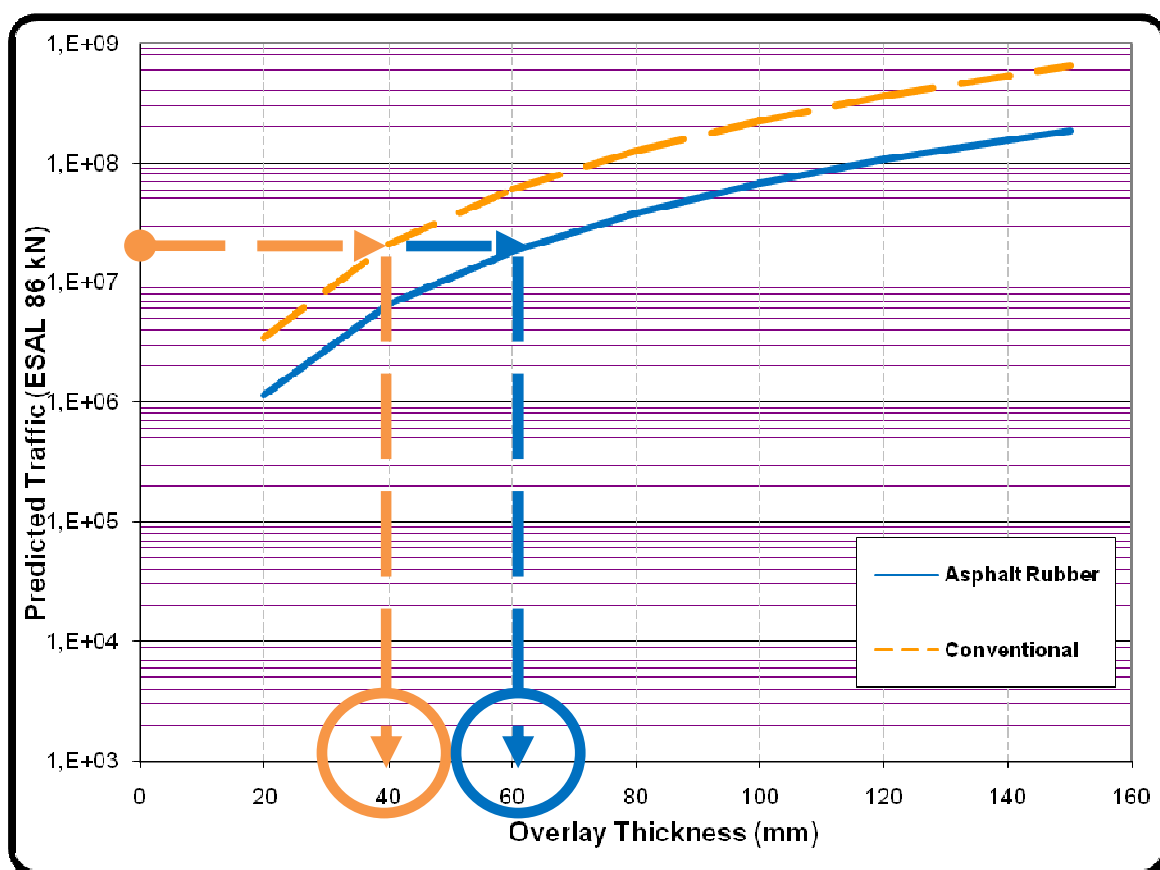
- **DZ12**

Návrhový počet vozidel:	20 983 450
Maximální teplota [°C]:	36,4
Průměrná teplota [°C]:	8,5
Minimální teplota [°C]:	- 19,7
Vrstva CB I [mm]:	240
Vrstva KSC I + ŠP [mm]:	460

Tab. 33 DZ12, upravené moduly pružnosti pro výpočet v programu Overlay Design

segment 40:	$E_1 =$	4 529 MPa
	$E_2 =$	625 MPa
	$E_{pod} =$	249 MPa
segment 80:	$E_1 =$	6 142 MPa
	$E_2 =$	836,5 MPa
	$E_{pod} =$	217 MPa
segment 120:	$E_1 =$	7 708 MPa
	$E_2 =$	840,5 MPa
	$E_{pod} =$	219 MPa

Názorný příklad odečtení tloušťky překrytí z grafu programu Overlay Design pro **segment 40 cm** s 1 % povolených porušení po 15 letech (**Obr. 52**):



Obr. 52 DZ12, návrh tloušťky překrytí – segment 40

Tab. 34 DZ12, návrh tloušťky překrytí

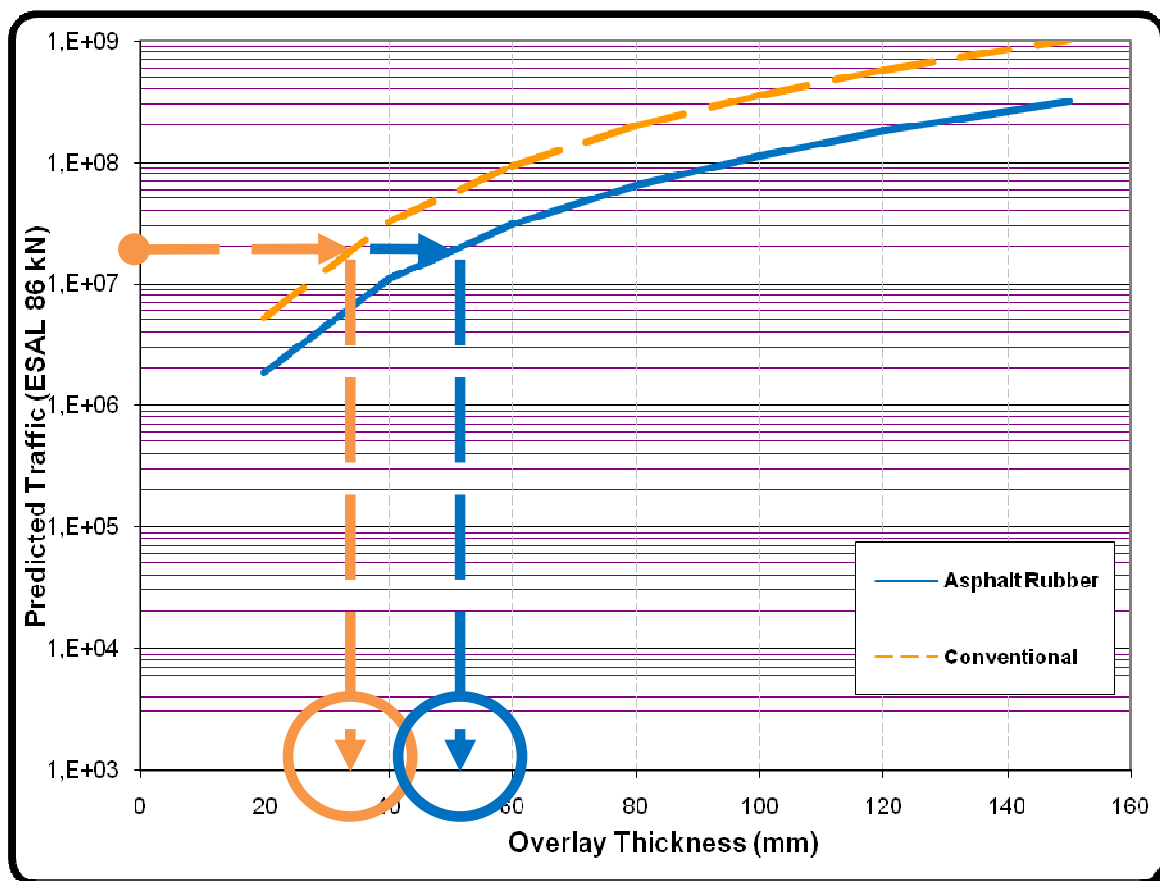
	tloušťka překrytí [mm]				
trhliny [%]:	1	3	5	7	9
segment 40 - asfaltobeton	40	34	29	23	19
segment 40 - gumoasfalt	62	52	43	37	31
segment 80 - asfaltobeton	40	35	29	23	19
segment 80 - gumoasfalt	62	52	43	37	31
segment 120 - asfaltobeton	42	36	31	25	21
segment 120 - gumoasfalt	66	55	46	38	33

- **KZ12**

Tab. 35 KZ12, upravené moduly pružnosti pro výpočet v programu Overlay Design

segment 40:	$E_1 =$	4 240 MPa
	$E_2 =$	588 MPa
	$E_{pod} =$	266 MPa
segment 80:	$E_1 =$	9 013 MPa
	$E_2 =$	623,5 MPa
	$E_{pod} =$	263 MPa
segment 120:	$E_1 =$	15 682 MPa
	$E_2 =$	765 MPa
	$E_{pod} =$	265 MPa

Názorný příklad odečtení tloušťky překrytí z grafu programu Overlay Design pro segment 80 cm s 5 % povolených porušení po 15 letech (**Obr. 53**):



Obr. 53 KZ12, návrh tloušťky překrytí – segment 80

Tab. 36 KZ12, návrh tloušťky překrytí

	tloušťka překrytí [mm]				
trhliny [%]:	1	3	5	7	9
segment 40 - asfaltobeton	39	34	28	23	18
segment 40 - gumoasfalt	60	51	43	37	31
segment 80 - asfaltobeton	48	40	35	30	25
segment 80 - gumoasfalt	73	60	52	42	36
segment 120 - asfaltobeton	51	41	36	31	26
segment 120 - gumoasfalt	76	64	54	45	38

Výpočet návrhu zesílení pro RV12:

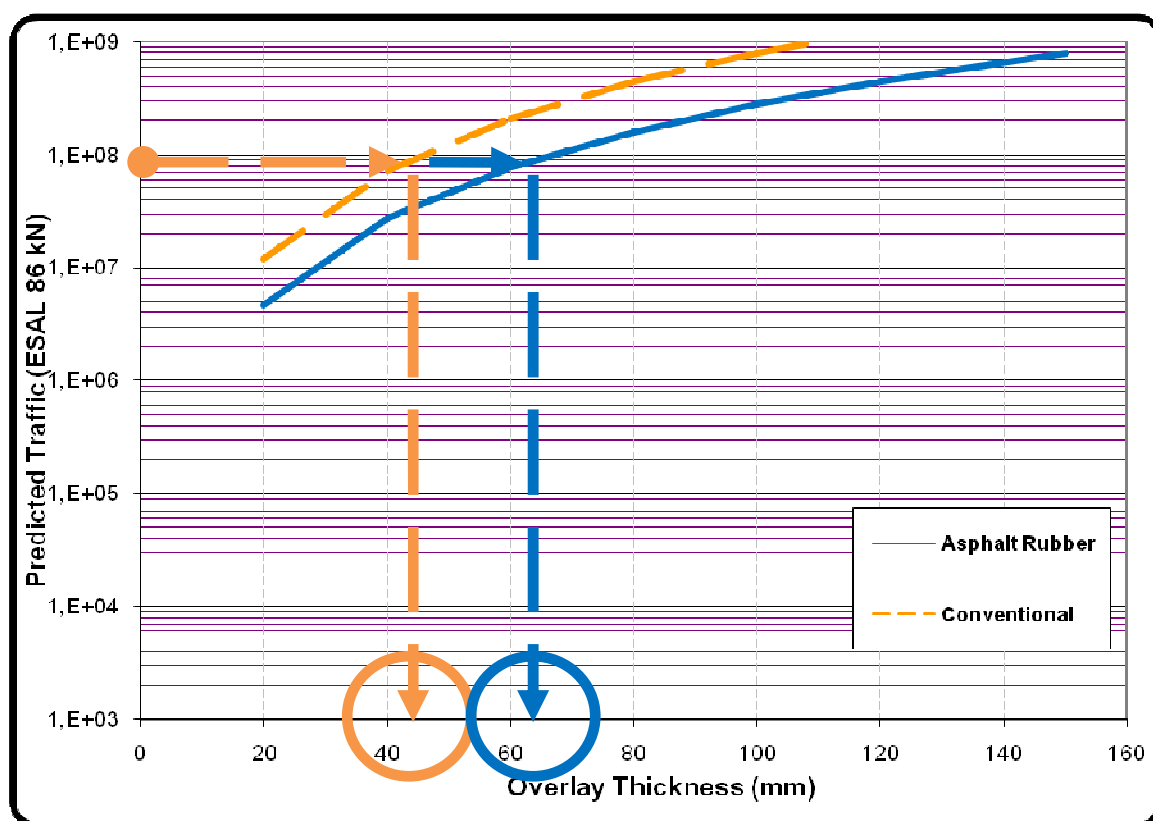
Modul pružnosti CB krytu a AB byl uvažován po segmentaci, modul pružnosti CS, ŠP a podloží před segmentací. E2 je průměr modulu pružnosti AB a CS.

Návrhový počet vozidel:	89 847 087
Maximální teplota [°C]:	38,0
Průměrná teplota [°C]:	9,5
Minimální teplota [°C]:	- 17,0
Vrstva CB I [mm]:	280
Vrstva KSC I + ŠP [mm]:	450

Tab. 37 RV12, upravené moduly pružnosti pro výpočet v programu Overlay Design

segment 40:	$E_1 =$	19 904 MPa
	$E_2 =$	935,5 MPa
	$E_{pod} =$	194 MPa
segment 80:	$E_1 =$	22 923 MPa
	$E_2 =$	958 MPa
	$E_{pod} =$	200 MPa
segment 120:	$E_1 =$	18 980 MPa
	$E_2 =$	1 213,5 MPa
	$E_{pod} =$	155 MPa

Názorný příklad odečtení tloušťky překrytí z grafu programu Overlay Design pro **segment 120 cm** s 9 % povolených porušení po 15 letech (**Obr. 54**):



Obr. 54 RV12, návrh tloušťky překrytí – segment 120

Tab. 38 RV12, návrh tloušťky překrytí

	tloušťka překrytí [mm]				
trhliny [%]:	1	3	5	7	9
segment 40 - asfaltobeton	92	77	64	55	46
segment 40 - gumoasfalt	135	115	95	80	68
segment 80 - asfaltobeton	93	79	67	55	47
segment 80 - gumoasfalt	140	117	99	82	70
segment 120 - asfaltobeton	86	75	61	53	43
segment 120 - gumoasfalt	132	110	93	78	63

Závěr

Obyčejně platí, že čím vyšší procento porušení vozovky se připustí, tím lze navrhnout vrstvu o menší tloušťce. U DZ12 a KZ12 platí, že čím větší segment, tím větší tloušťka překrytí (větší části nesedí tak dobře, houpají se). U RV12 je potřeba největšího překrytí pro segment 80, modul pružnosti CB krytu po segmentaci je zde nejvyšší. Tloušťka překrytí gumoasfaltu vychází vyšší z důvodu nižších modulů pružnosti gumoasfaltů (mají mnohem vyšší obsah pojiva než běžné směsi).

5 Závěr

Metodika pro stanovení optimálního kroku segmentace cementobetonového krytu

Podstatou metodiky je zjistit velikost optimálního kroku při segmentování původního cementobetonového krytu tuhé vozovky a následném překrývání netuhými (asfaltovými) vrstvami.

Cílem segmentace je omezit velikost horizontálních dilatačních pohybů a současně využít v co možná nejvyšší možné míře zbytkovou únosnost segmentovaného CB krytu vozovky.

1) Vyhledávací měření

Na celém úseku, kde je plánována technologie překrytí původního CB krytu asfaltovými vrstvami bude provedeno vyhledávací měření spočívající ve stanovení parametru únosnosti ISM v krocích po 250 m.

Pokud tloušťka překrytí asfaltovými vrstvami vychází větší než 150 mm je technologie překrývání asfaltovými vrstvami již neekonomická.

a) Základní požadavky na měřicí zařízení

1. Měření únosnosti lze provádět pouze zařízením s platným oprávněním MD ČR.
2. Vzhledem k typu zkoušených konstrukcí je nutné, aby měřicí zařízení bylo schopné provádět měření s větším zatížením než 50 kN. V souladu s platnou ČSN 73 6192 *Rázové zatěžovací zkoušky vozovek a podloží* [15] je nezbytné, aby měřené deformace dosahovaly alespoň:
 - 200 μm na snímači pod středem zatěžovací desky,
 - 20 μm na nejvíce vzdáleném snímači tj. ve vzdálenosti alespoň 1800 mm od středu zatěžovací desky.

Poznámky:

Hodnoty výše uvedených deformací lze dosahovat při zatížení 100-150 kN.

Působení rázového pulzu tj. standardní amplituda musí mít délku v intervalu v 20-35 ms.

b) Výběr homogenního úseku

Měření je nutné provádět na povrchu z cementového betonu. V případě, že byl původní cementobetonový kryt zesílen asfaltovými vrstvami, je nutné tyto vrstvy frézováním odstranit.

Úsek původní vozovky před segmentací, na kterém se bude provádět měření, musí ve smyslu únosnosti vykazovat homogenní vlastnosti.

Výběr úseku se doporučuje provést na základě vyhledávacího měření provedeného v délce alespoň 200 m a současně v minimálně dvou jízdních pruzích (pomalý a vedlejší pojížděný) na středech desek a v blízkosti příčných spár.

Vyhledávací měření se nedovoluje provádět v lokalitách s předpokládanou nehomogenní únosností podloží, v blízkosti mostních objektů (30 m), a v místech s výskytem trhlin v krytu apod.

Měření je nutné provést na dostatečném počtu po sobě následujících desek tak, aby bylo možné statisticky vyhodnotit účinek segmentace. Doporučený minimální počet po sobě následujících desek je 30.

Pro měření je nutné vybrat dostatečně homogenní úsek s nízkým variačním koeficientem (max. 30%) parametru ISM. Variační koeficient je podílem směrodatné odchylky a průměru.

Je-li po šířce vozovky (v jednotlivých konstrukčních pásech) rozdílné konstrukční složení, je nutné homogenitu posuzovat pro každý konstrukčně jednotný úsek (pas) samostatně.

Homogenní úsek při uvažování třech kroků segmentace, z nichž jeden bude vybrán pro finální segmentaci, má následující specifikaci:

- 3 za sebou následující desky, na nichž bude provedena segmentace s krokem A.
- Jedna deska, která nebude segmentována.
- 3 za sebou následující desky, na nichž bude provedena segmentace s krokem B.
- Jedna deska, která nebude segmentována.
- 3 za sebou následující desky, na nichž bude provedena segmentace s krokem C.

Homogenní úsek má celkem 11 desek.

Krok je vzdálenost segmentačních rázů prováděných metodou Crack & Seat

2) Provedení rozhodovacího měření

Rozhodovací měření slouží jako podklad pro volbu kroku segmentace CB desek.

Měření nesmí probíhat v době, kdy by do konstrukce vozovky během provádění měření mohla vniknout voda (např. srážková, při řezání desek, čištění povrchu apod.)

Rozhodovací měření je provedeno ve 3 fázích:

- Fáze 1 – Podrobné měření na všech středech desek nesegmentovaném krytu v rámci homogenního úseku (při volbě třech kroků je to 11 desek) před provedením segmentace.
- Fáze 2
 - Provedení segmentace (na deskách bez kluzných trnů a kotev) v souladu s metodikou Crack&Seat.
 - Usazení vzniklých segmentů pojezdem těžkým pneumatikovým válcem (o hmotnosti min. 22 tun) v souladu s technologií Crack&Seat.
- Fáze 3 – Podrobné měření provedené po segmentaci následovně:

Obecné podmínky:

Zatěžovací deska nesmí být položena na rozhraní fragmentů.

Měření na segmentech:

Na deskách se segmenty o délce hrany 40 cm a méně se doporučuje zkoušet každý druhý segment tak, že zatěžovací deska o průměru 30 cm je pokládána přibližně do středu segmentu.

Na deskách se segmenty o délce hrany 40-120 cm se doporučuje zkoušet každý segment

3) Optimalizace segmentačního kroku

Volba optimálního segmentačního kroku se provede po provedení rozhodovacího měření na základě grafického vyhodnocení závislosti mezi velikostí segmentu a poklesem únosnosti modulu ISM. Další eventuální možností je případný výběr optimálního kroku segmentace na základě modulu tuhosti segmentovaného a uválcovaného CB krytu, kdy by

se měl tento modul pohybovat v rozmezí 3 500 – 7 000 MPa. Zde však záleží na druhu použitého softwaru pro zpětný výpočet modulů tuhosti tuhé vozovky.

6 Seznam knih, časopisů a monografií

- [1] VARAUS, M. Téma 10 text – Cementobetonové kryty, prezentace, VUT v Brně, 2012.
- [2] KUDRNA, J. Rekonstrukce cementobetonových vozovek asfaltovými vrstvami. In: VUT FAST v Brně, s. 4, 1997.
- [3] FIEDLER, J. a I. RACEK. Návrh konstrukce vozovky při rozšíření dálnice D1 Všechnomy - Mirošovice. In: Stavby silnic a železnic a.s., Praha, s. 4.
- [4] KAŠPAR, J. Provádění hutněných asfaltových vrstev při rozšíření dálnice D1 Všechnomy - Mirošovice. In: Stavby silnic a železnic a.s., OZ 3, Praha, s. 2.
- [5] KOMÍNEK, Z. Systém Flexiplast®: Systém zpomalující prokopírování trhlin z podkladu do krytu vozovky. In: Sborník konference asfaltové vozovky 1997.
- [6] FIEDLER, J., BUREŠ, P., KAŠPAR, J., KOMÍNEK, Z. Zkušenosti s realizací technologií omezující šíření trhlin k povrchu vozovek. In: Sborník konference asfaltové vozovky 1997.
- [7] BREITENBÜCHER, R. Alkalicko-křemičitá reakce - důsledky pro cementobetonové kryty. In: *Strasse + Autobahn*. 4/2006, str. 205 - 209.
- [8] ASPHALT INSTITUT. *Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation: Manual Series No. 17 (MS-17)*. Kentucky, 2000.

7 Seznam norem

- [9] ČSN 73 6114. *Vozovky pozemních komunikací. Základní ustanovení pro navrhování.* ČNI, Praha, 1995. 28 s.
- [10] ČSN EN 13877-1. *Cementobetonové kryty – Část 1: Materiály.* ČNI, Praha, 2006. 20 s.
- [11] ČSN EN 13877-3. *Cementobetonové kryty - Část 3: Specifikace pro trny, používané do cementobetonových krytů.* ČNI, Praha, 2006. 12 s.
- [12] ČSN EN 197-1. *Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití.* ČNI, Praha, 2001. 28 s.
- [13] ČSN EN 10080. *Ocel pro výztuž do betonu – Svařitelná betonářská ocel – Všeobecně.* ČNI, Praha, 2005. 64 s.
- [14] ČSN 73 6180. *Hmoty pro ošetřování povrchu čerstvého betonu.* ČNI, Praha, 1976. 8 s.
- [15] ČSN 73 6192. *Rázové zatěžovací zkoušky vozovek a podloží.* ČNI, Praha, 1996. 20 s.
- [16] ČSN 73 6123-1. *Stavba vozovek – Cementobetonové kryty – Část 1: Provádění a kontrola shody.* ČNI, Praha, 2006. 20 s.
- [17] TP 136. *Povlakovaná výztuž do betonu.* SVÚOM s.r.o., 2000. 42 s.
- [18] TP 91. *Rekonstrukce vozovek s cementobetonovým krytem.* Stradis s.r.o., 1997. 24 s.
- [19] TP 92. *Navrhování údržby a oprav vozovek s cementobetonovým krytem.* Stradis s.r.o., 2010. 97 s.
- [20] TP 170. *Navrhování vozovek pozemních komunikací.* VUT Brno, Roadconsult, 2004. 106 s.
- [21] TP 208. *Rekonstrukce konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena.* APT SERVIS, 2009. 28 s.
- [22] TP 137. *Vyloučení alkalické reakce kameniva v betonu na stavbách pozemních komunikací.* ČVUT, ŘSD, 2003. 30 s.
- [23] TP 210. *Užití recyklovaných stavebních demoličních materiálů do PK.* VUT Brno, 2011. 23 s.

- [24] TP 62. *Katalog poruch vozovek s cementobetonovým krytem*. CDV BRNO, Stradis s.r.o., 1995. 82 s.

8 Seznam internetových zdrojů

- [25] Ammann Group - Home. *Http://www.ammann-group.cz* [online]. 2012 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: http://www.ammann-group.cz/fileadmin/ammann/syncfiles/International/images/avF45pt_ap240h_070205_01_nl.jpg
- [26] Mapy.cz. *Http://www.mapy.cz* [online]. Copyright © 1996–2013 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz/#x=15.570529&y=50.122583&z=11>
- [27] Mapy.cz. *Http://www.mapy.cz* [online]. Copyright © 1996–2013 [cit. 2013-01-08]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz/#x=16.784304&y=49.223699&z=10>

9 Seznam použitých zkratek

ČR	- Česká republika
CRCP	- Spojitě vyztužený cementobetonový kryt
CRCR	- Spojitě vyztužený cementobetonový podklad
CB I, II, II	- Třídy cementobetonových krytů
PK	- Pozemní komunikace
TNV	- Těžká nákladní vozidla
D1, D2, D11	- Značení dálnic v ČR
D0, D1	- Návrhová úroveň porušení vozovky
TP	- Technické podmínky
FWD	- Falling Weight Deflectometer
SÚS	- Správa a údržba silnic
VUT FAST	- Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební
SAMI	- Stress absorbing membrane interlayer
SSŽ	- Stavby silnic a železnic
ČVUT	- České vysoké učení technické v Praze
MKP	- Metoda konečných prvků
SAL	- Stress absorbing layer
ŘSD	- Ředitelství silnic a dálnic
ISM	- Impulse stiffness modulus

10 Seznam obrázků

Obr. 1 Smršťovací spára	22
Obr. 2 Automatické vkládání trnů v místě příčné spáry a ruční zavibrování kotev	24
Obr. 3 Rozhodovací schéma pro volbu rekonstrukcí vozovek s CB krytem	34
Obr. 4 Rozhodovací schéma pro volbu způsobu rekonstrukce	35
Obr. 5 Základní rozhodovací schéma pro rekonstrukce vozovky zesílením	37
Obr. 6 Segmentace: gilotina, vývrt s viditelnou trhlinou na celou výšku krytu	44
Obr. 7 Drcení CB krytu na místě: zařízení se soupravou kladiv, detail vzniklé suti	45
Obr. 8 Detail příčného prořezu spáry v překryvné asfaltové vrstvě	80
Obr. 9 Kompenzační vrstva v překryvném systému	81
Obr. 10 Šíření reflexní trhliny na povrch asfaltových vrstev	83
Obr. 11 Optimální rozsah efektivního modulu	84
Obr. 12 Rozdrcená vozovka	85
Obr. 13 Rezonanční breaker vozovky	85
Obr. 14 Multiple Head Breaker	86
Obr. 15 Válec se Z - mřížkou	87
Obr. 16 Vzorové trhliny popraskání a porušení	89
Obr. 17 Gilotina	90
Obr. 18 Pneumatický válec	90
Obr. 19 Rozdíl deformací a přenos zatížení	94
Obr. 20 Deflektometr FWD, PRIMAX 3000	98
Obr. 21 Hlavní lať rázového zařízení	99
Obr. 22 CB deska za nízkých teplot	99
Obr. 23 CB deska za vysokých teplot	100
Obr. 24 Gilotina Davon RBA 6500	100
Obr. 25 Segmentační krok	101
Obr. 26 Teploměr	102
Obr. 27 Měření únosnosti	102
Obr. 28 Údery gilotinou	103
Obr. 29 Přerežání výztuže kotoučovou pilou	103
Obr. 30 Pneumatikový válec AMMANN AP240H [25]	103
Obr. 31 Měření na dálnici D11, zářez Dobřenický a Kinského [26]	105
Obr. 32 DZ11, úsek A, schéma měřených bodů před segmentací	106

Obr. 33 DZ11, úsek A, schéma měřených bodů po segmentaci	106
Obr. 34 DZ11, úsek B, schéma měřených bodů před segmentací	107
Obr. 35 DZ11, úsek B, schéma měřených bodů po segmentaci	107
Obr. 36 DZ11, úsek C, schéma měřených bodů před segmentací	108
Obr. 37 DZ11, úsek C, schéma měřených bodů po segmentaci	108
Obr. 38 DZ11, graf teplot	109
Obr. 39 DZ11, teplotní spád	109
Obr. 40 DZ11, pokles celkové tuhosti konstrukce vyjádřené modulem ISM.....	110
Obr. 41 DZ11, procentuální pokles modulů pružnosti CB krytu po segmentaci.....	111
Obr. 42 DZ12, úsek A, schéma měřených bodů před a po segmentaci	113
Obr. 43 DZ12, úsek B, schéma měřených bodů před a po segmentaci	113
Obr. 44 DZ12, úsek C, schéma měřených bodů před a po segmentaci	114
Obr. 45 DZ12, procentuální pokles modulů pružnosti CB krytu po segmentaci.....	115
Obr. 46 KZ12, úsek A, schéma měřených bodů před a po segmentaci	116
Obr. 47 KZ12, úsek B, schéma měřených bodů před a po segmentaci	116
Obr. 48 KZ12, úsek C, schéma měřených bodů před a po segmentaci	116
Obr. 49 KZ12, procentuální pokles modulů pružnosti CB krytu po segmentaci.....	118
Obr. 50 Měření na D1, Rousínov – Vyškov [27].....	119
Obr. 51 RV12, procentuální pokles modulů pružnosti CB krytu po segmentaci	120
Obr. 52 DZ12, návrh tloušťky překrytí – segment 40	127
Obr. 53 KZ12, návrh tloušťky překrytí – segment 80	129
Obr. 54 RV12, návrh tloušťky překrytí – segment 120	131

11 Seznam tabulek

Tab. 1 Členění cementobetonových krytů	15
Tab. 2 Hlavní požadavky na kamenivo do cementobetonových krytů	16
Tab. 3 Požadavky na beton	17
Tab. 4 Obsah vzduchu v čerstvém betonu v místě pokládky	18
Tab. 5 Ztvrdlý beton.....	19
Tab. 6 Způsoby rekonstrukce CB vozovek z hlediska skladby konstrukčních vrstev	31
Tab. 7 Zákl. typy rekonstrukce CB vozovky z hlediska půdorysného uspořádání	32
Tab. 8 Katalogové listy zesílení vozovky s CB krytem	41
Tab. 9 Minimální tloušťky krytu.....	61
Tab. 10 Vlastnosti membrány Elastoplast.....	61
Tab. 11 Porovnání směsí Viasaf a RCRI	65
Tab. 12 Přípustný obsah alkálií v cementu pro beton do CB krytů vozovek.....	73
Tab. 13 Minimální tloušťka překrytí v závislosti na teplotě a délce CB desky	79
Tab. 14 Doporučené limitní tloušťky pro kompenzační vrstvu	82
Tab. 15 Koeficienty vrstvy.....	88
Tab. 16 Koeficienty vrstvy.....	91
Tab. 17 DZ11, pokles celkové tuhosti konstrukce vyjádřené modulem ISM.....	110
Tab. 18 DZ11, segment po 40 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu.....	111
Tab. 19 DZ11, segment po 80 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu.....	111
Tab. 20 DZ11, segment po 120 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu.....	111
Tab. 21 DZ12, pokles celkové tuhosti konstrukce vyjádřené modulem ISM.....	114
Tab. 22 DZ12, segment po 40 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu.....	115
Tab. 23 DZ12, segment po 80 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu.....	115
Tab. 24 DZ12, segment po 120 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu.....	115
Tab. 25 KZ12, pokles celkové tuhosti konstrukce vyjádřené modulem ISM.....	117
Tab. 26 KZ12, segment po 40 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu.....	117
Tab. 27 KZ12, segment po 80 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu.....	117
Tab. 28 KZ12, segment po 120 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu.....	117
Tab. 29 RV12, pokles celkové tuhosti konstrukce vyjádřené modulem ISM.....	119
Tab. 30 RV12, segment po 40 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu	119
Tab. 31 RV12, segment po 80 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu	120
Tab. 32 RV12, segment po 120 cm, moduly pružnosti v pomalém pruhu	120

Tab. 33 DZ12, upravené moduly pružnosti pro výpočet v programu Overlay Design.....	126
Tab. 34 DZ12, návrh tloušťky překrytí.....	127
Tab. 35 KZ12, upravené moduly pružnosti pro výpočet v programu Overlay Design.....	128
Tab. 36 KZ12, návrh tloušťky překrytí.....	129
Tab. 37 RV12, upravené moduly pružnosti pro výpočet v programu Overlay Design	130
Tab. 38 RV12, návrh tloušťky překrytí.....	131